



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI PERENCANAAN KOORDINASI PROTEKSI  
MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. SEMEN INDONESIA ACEH  
MENGUNAKAN STANDAR IEEE 1584-2002**

Dhimas Oktavian Andryana  
NRP 2214 105 088

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TE 141599**

***PROTECTION COORDINATION PLANNING STUDY  
CONSIDERING ARC FLASH AT PT. SEMEN INDONESIA  
ACEH ELECTRICAL SYSTEM USING IEEE 1584-2002  
STANDARD***

Dhimas Oktavian Andryana  
NRP 2214 105 088

Advisor  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “ **Studi Perencanaan Koordinasi Proteksi Mempertimbangkan Busur Api Pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002** ” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Dhimas Oktavian Andryana  
NRP. 2214 105 088

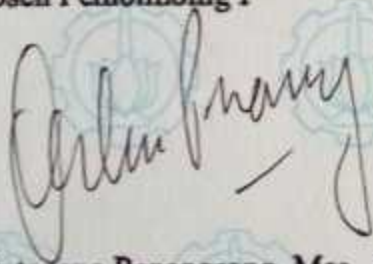
**STUDI PERENCANAAN KOORDINASI PROTEKSI  
MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. SEMEN INDONESIA ACEH MENGGUNAKAN  
STANDAR IEEE 1584-2002**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, Msc., Ph.D.**  
**NIP. 194907151974121001**

**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**  
**NIP. 197411292000121001**

**SURABAYA  
JANUARI, 2017**

# **Studi Perencanaan Koordinasi Proteksi Mempertimbangkan Busur Api Pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002**

**Nama Mahasiswa : Dhimas Oktavian Andryana**  
**Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D**  
**Dosen Pembimbing II: Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., MT.**

## **Abstrak**

PT. Semen Indonesia pabrik Aceh merupakan perusahaan patungan (*joint venture company*) antara PT. Semen Indonesia (Persero) bersama PT. Samana Citra Agung. Total daya listrik yang dibutuhkan sebesar 85.8 MW dengan sistem kelistrikan pada sistem tegangan rendah dan menengah. Guna menjaga kontinuitas daya listrik, diperlukan koordinasi proteksi untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan ketika terjadi gangguan. Salah satu dampak yang ditimbulkan adalah adanya busur api (*arc flash*). Namun demikian, energi yang dihasilkan oleh busur api setelah dilakukan koordinasi proteksi perlu dipertimbangkan agar tidak melampaui standard yang diizinkan. Analisa busur api dilakukan dengan menggunakan perhitungan standar IEEE 1584-2002. Setelah dilakukan analisa didapatkan beberapa bus di PT. Semen Indonesia pabrik Aceh memiliki nilai insiden energi diatas kategori 4, sehingga diperlukan tambahan peralatan berupa rele differensial sebagai pengaman utama agar nilai insiden energi busur api pada masing-masing bus tipikal memenuhi batas yang diizinkan oleh standard NFPA 70E.

***Kata Kunci : PT. Semen Indonesia Aceh, Koordinasi Proteksi, Insiden Energi, IEEE 1584-2002, dan NFPA 70E.***

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

*Protection Coordination Planning Study Considering Arc  
Flash at PT. Semen Indonesia Aceh Electrical System Using  
IEEE 1584-2002 Standard*

**Student Name** : *Dhimas Oktavian Andryana*  
**Supervisor I** : *Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D*  
**Supervisor II** : *Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., MT.*

**Abstrack**

*PT. Semen Indonesia Aceh plant is a joint venture company between PT. Semen Indonesia (Persero) and PT. Samana Citra Agung. The total electric power required by the system amounted to 85.8 MW of electricity in low and medium voltage systems. In order to maintain continuity of electrical power, protection coordination is required to minimize the impact in the event of disruption. One impact is the arc flash. However, the energy produced by the arc flash after coordination of protection should be considered in order not to exceed the standards allowed. Arc flash analysis calculations using standard IEEE 1584-2002. After some analysis it was found that some areas of PT. Semen Indonesia Aceh plant has a value of energy incident over category 4, necessitating additional equipment such as a safety relay main differential so that the value of energy arcing incident could be categorized as standard NFPA 70E.*

**Kata Kunci** : *PT. Semen Indonesia Aceh, Protection Cordination, Energy Incident, IEEE 1584-2002, and NFPA 70E.*

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur bagi Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

### **“Studi Perencanaan Koordinasi Proteksi Mempertimbangkan Busur Api Pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002”**

Pembuatan dan penyusunan tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari berbagai keterbatasannya, karena itu penulis memohon maaf atas keterbatasan materi laporan tugas akhir ini. Penulis sangat mengharapkan masukan berupa saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Kami selaku penyusun dan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada pihak – pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Sutikno Alm dan Ningsih Dwi Astuti selaku kedua orang tua penulis yang selalu mendukung, memberi nasihat, serta mendoakan.
2. Bapak Dr. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
3. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D., selaku koordinator tugas akhir bidang studi Teknik Sistem Tenaga Teknik Elektro ITS.
4. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, Msc., Ph.D. dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis.
5. Bapak Abdul Chamid, selaku bagian administrasi tugas akhir bidang studi Teknik Sistem Tenaga Teknik Elektro ITS.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing dan membekali ilmu kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan di kampus tercinta ini, ITS, Surabaya.

7. Oni Vidya Pentasasi beserta keluarga yang telah memberikan dukungan, doa dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Teman – teman LJ Power angkatan '14, terima kasih atas dukungan dan semangat dari kalian.
9. Orang – orang disekitar maupun saudara – saudaraku yang telah mendukung dan mendoakan.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis hingga terselesainya tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah S.W.T selalu memberikan perlindungan, rahmat dan nikmat-Nya bagi kita semua. Aamiin...

Surabaya, Januari 2017

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Relevansi .....	3

## **BAB II TEORI PENUNJANG**

2.1 Hubung Singkat .....	5
2.2 Busur Api Listrik .....	7
2.2.1 <i>Arcing Current</i> .....	8
2.2.2 Insiden Energi .....	9
2.2.3 Lee Method .....	11
2.3 <i>Flash Protection Boundary</i> .....	13
2.4 Pengelompokkan Kategori Energi Busur Api .....	14
2.5 Rele Arus Lebih ( <i>Overcurrent Relay</i> ) .....	16
2.6 Rele Differensial .....	19

## **BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN INDONESIA ACEH**

3.1 Metode Pengerjaan Tugas Akhir .....	21
3.2 Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh .....	22
3.3 Data Beban Kelistrikan pada PT. Semen Indonesia Aceh ..	23

## **BAB IV SIMULASI DAN ANALISA BUSUR API DI PT. SEMEN INDONESIA PABRIK ACEH**

4.1	Hasil Simulasi Insiden Energi <i>Arc Flash</i> Menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.0 ( <i>Existing</i> ).....	27
4.2	Studi Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa .....	27
4.2.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1 .....	28
4.2.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2 .....	38
4.2.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3 .....	50
4.2.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4 .....	61
4.3	Hasil Simulasi Energi Busur Api Menggunakan Perangkat Lunak ETAP ( <i>Resetting</i> ).....	65
4.3.1	Perhitungan Energi Busur Api ( <i>Resetting</i> ) dengan Standar IEEE 1584-2002 .....	66
4.3.2	Perhitungan Energi Busur Api Standar IEEE 1584-2002 dengan Penambahan Rele Differensial.....	76
4.4	Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi <i>Existing</i> dan Setelah <i>Resetting</i> (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002).....	77
4.5	Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> dan Setelah Penambahan Rele Differensial (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002).....	78
4.6	Perbandingan Nilai <i>Flash Protection Boundary</i> (FPB) Kondisi <i>Existing</i> , <i>Resetting</i> , dan Setelah Penambahan Rele Diferensial (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002)..	79
4.7	<i>Personal Protective Equipment</i> (PPE) yang Harus Digunakan.....	80
 <b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan.....	85
5.2	Saran .....	96
 <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		97
 <b>LAMPIRAN</b>		
 <b>RIWAYAT HIDUP PENULIS</b>		

## **TABLE OF CONTENTS**

**TITLE**

**STATEMENT SHEET**

**VALIDITY SHEET**

<b>ABSTRAK</b> .....	<i>i</i>
<b>ABSTRACT</b> .....	<i>iii</i>
<b>FOREWORD</b> .....	<i>v</i>
<b>TABLE OF CONTENTS</b> .....	<i>vii</i>
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	<i>ix</i>
<b>LIST OF TABLES</b> .....	<i>xi</i>

### **BAB I INTRODUCTION**

1.1 Background.....	1
1.2 Formulation of the problem .....	2
1.3 Scope of problem.....	2
1.4 Purpose .....	2
1.5 Methodology .....	2
1.6 Relevance .....	3

### **BAB II SUPPORTING THEORY**

2.1 Short circuit .....	5
2.2 Arc flash.....	7
2.2.1 Arcing Current.....	8
2.2.2 Incident Energy.....	9
2.2.3 Lee Method.....	11
2.3 Flash Protection Boundary.....	13
2.4 Grouping arc flash category .....	14
2.5 Overcurrent Relay.....	16
2.6 Differensial Relay .....	19

### **BAB III PT. SEMEN INDONESIA ACEH ELECTRICAL SYSTEM**

3.1 Method of final project.....	21
3.2 PT. Semen Indonesia Aceh electrical system .....	22
3.3 PT. Semen Indonesia Aceh electricity load data.....	23

### **BAB IV SIMULATION AND ANALYSIS IN PT. SEMEN INDONESIA ACEH FACTORY**

4.1	<i>Simulation result of incident energy arc flash using software ETAP 12.6.0 (Existing).....</i>	27
4.2	<i>Overcurrent relay coordination study phase disorder.....</i>	27
4.2.1	<i>Overcurrent relay coordination study phase disorder typical 1 .....</i>	28
4.2.2	<i>Overcurrent relay coordination study phase disorder typical 2 .....</i>	38
4.2.3	<i>Overcurrent relay coordination study phase disorder typical 3 .....</i>	50
4.2.4	<i>Overcurrent relay coordination study phase disorder typical 4 .....</i>	61
4.3	<i>Simulation result of incident energy arc flash using software ETAP 12.6.0 (Resetting).....</i>	65
4.3.1	<i>Incident energy arc flash calculation (Resetting) with IEEE 1584-2002 standart.....</i>	66
4.3.2	<i>Incident energy arc flash calculation (Resetting) with differential relay .....</i>	76
4.4	<i>Comparison arc flash energy existing and resetting (IEEE 1584-2002 standard) .....</i>	77
4.5	<i>Comparison arc flash energy resetting and after the addition of the differensial relay (IEEE 1584-2002 standard).....</i>	78
4.6	<i>Comparison Flash Protection Boundary (FPB) Kondisi Existing, Resetting, and after the addition of the differensial relay (IEEE 1584-2002 standard) .....</i>	79
4.7	<i>Personal Protective Equipment (PPE) should be used.....</i>	80

## **BAB V CLOSE**

5.1	<i>Conclusion.....</i>	85
5.2	<i>Suggestion.....</i>	96

<b>BIBLIOGRAPHY</b>	.....	97
---------------------	-------	----

## **ATTACHMENT**

## **CURICULUM VITAE**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Gelombang Arus Hubung Singkat .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Efek <i>Arc Fault</i> .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Flash Protection Boundary</i> .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	<i>Arc Flash Label</i> .....	16
<b>Gambar 2.5</b>	Karakteristik <i>Standard Invers</i> , <i>Very Invers</i> , dan <i>Extremely Invers</i> .....	18
<b>Gambar 2.6</b>	Rele Differensial Keadaan Normal .....	19
<b>Gambar 2.7</b>	Rele Differensial Gangguan Eksternal .....	20
<b>Gambar 2.8</b>	Rele Differensial Gangguan Internal .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	21
<b>Gambar 4.1</b>	Koordinasi Rele Tipikal 1 .....	28
<b>Gambar 4.2</b>	Plot Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 1 .....	29
<b>Gambar 4.3</b>	Plot Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 1 .....	37
<b>Gambar 4.4</b>	Koordinasi Rele Tipikal 2 .....	38
<b>Gambar 4.5</b>	Plot Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 2 .....	39
<b>Gambar 4.6</b>	Plot Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 2 .....	49
<b>Gambar 4.7</b>	Koordinasi Rele Tipikal 3 .....	50
<b>Gambar 4.8</b>	Plot Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 3 .....	51
<b>Gambar 4.9</b>	Plot Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 3 .....	60
<b>Gambar 4.10</b>	Koordinasi Rele Tipikal 4 .....	61
<b>Gambar 4.11</b>	Plot Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 4 .....	62
<b>Gambar 4.12</b>	Plot Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 4 .....	64

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Faktor untuk Peralatan dan Kelas Tegangan.....	10
<b>Tabel 2.2</b>	<i>Typical Bus Gap</i> .....	11
<b>Tabel 2.3</b>	<i>Typical Working Distance</i> .....	11
<b>Tabel 2.4</b>	<i>Protection Clothing Characteristics</i> .....	14
<b>Tabel 2.5</b>	Koefisien Invers <i>Time Dial</i> .....	17
<b>Tabel 2.6</b>	Spesifikasi Rele Berbasis Analog .....	18
<b>Tabel 3.1</b>	Data Transformator.....	22
<b>Tabel 3.2</b>	Lanjutan Tabel 3.1 .....	23
<b>Tabel 3.3</b>	Data Beban Motor pada Tegangan 6.3 kV.....	24
<b>Tabel 3.4</b>	Data Beban Motor pada Tegangan 0.7 kV.....	24
<b>Tabel 3.5</b>	Data Beban Motor pada Tegangan 1.92 kV dan 1.835 kV .....	24
<b>Tabel 3.6</b>	Data Beban <i>Lump Load</i> pada Tegangan 0.4 kV ...	25
<b>Tabel 3.7</b>	Lanjutan Tabel 3.6 .....	26
<b>Tabel 4.1</b>	Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Existing</i> .....	27
<b>Tabel 4.2</b>	Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> .....	65
<b>Tabel 4.3</b>	Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> dengan Penambahan Rele Differensial .	65
<b>Tabel 4.4</b>	Rating Bus 821MV011 .....	66
<b>Tabel 4.5</b>	Rating Bus 821MV021 .....	67
<b>Tabel 4.6</b>	Rating Bus 821MV042 .....	68
<b>Tabel 4.7</b>	Rating Bus 831MV041 .....	69
<b>Tabel 4.8</b>	Rating Bus 831MV051 .....	70
<b>Tabel 4.9</b>	Rating Bus 831MV052 .....	70
<b>Tabel 4.10</b>	Rating Bus 831MV061 .....	71
<b>Tabel 4.11</b>	Rating Bus 831MV121 .....	72
<b>Tabel 4.12</b>	Rating Bus Bus30 .....	73
<b>Tabel 4.13</b>	Rating Bus Bus31 .....	73
<b>Tabel 4.14</b>	Rating Bus Bus157 .....	74
<b>Tabel 4.15</b>	Rating Bus BUS-341FN03M01.....	75
<b>Tabel 4.16</b>	Rating Bus BUS-834.TM253 .....	76
<b>Tabel 4.17</b>	Rating Bus Bus30 dengan Rele Differensial .....	77
<b>Tabel 4.18</b>	Data Perbandingan Besar Insiden Energi untuk Kondisi Existing dan Resetting .....	78

<b>Tabel 4.19</b>	Data Perbandingan Besar Insiden Energi untuk Kondisi Sebelum dan Sesudah Penambahan Rele Differensial.....	79
<b>Tabel 4.20</b>	Data Perbandingan FPB Kondisi <i>Existing</i> , <i>Resetting</i> , dan Setelah Penambahan Rele Differensial .....	80
<b>Tabel 4.21</b>	Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah <i>Resetting</i> .....	81
<b>Tabel 4.22</b>	Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah Penambahan Rele Differensial .....	83

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia Aceh merupakan perusahaan patungan (*joint venture company*) antara PT. Semen Indonesia (Persero) bersama PT. Samana Citra Agung. Total daya listrik yang dibutuhkan sebesar 85.8 MW dengan sistem kelistrikan pada sistem tegangan rendah dan menengah. Guna menjaga kontinuitas daya listrik, diperlukan koordinasi proteksi untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan ketika terjadi gangguan. Salah satu dampak yang ditimbulkan adalah adanya busur api (*arc flash*). Oleh sebab itu, demi menjaga keamanan dan keselamatan pekerja dari bahaya *arc flash* perlu diketahui energi yang dihasilkan.

Besarnya insiden energi yang dihasilkan tergantung dari waktu kerja sistem pengaman akibat gangguan arus hubung singkat. Semakin cepat rele pengaman bekerja semakin kecil tingkat insiden energi *arc flash* yang ditimbulkan, sehingga perlu dikaji atau dipelajari tingkat insiden energi *arc flash* yang ditimbulkan guna memberi peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya untuk menentukan alat pelindung diri yang harus digunakan sebagai antisipasi terjadinya kecelakaan kerja yang mengakibatkan jatuhnya korban jiwa.

Berdasarkan standar IEEE 1584-2002 yang berkaitan tentang masalah *arc flash*, analisa bahaya *arc flash* harus dilakukan dengan melakukan studi terhadap kordinasi proteksi dan hubung singkat. Studi proteksi diperlukan untuk menentukan waktu peralatan proteksi dalam mengisolasi ketika terjadi hubung singkat. Sedangkan studi hubung singkat digunakan untuk mendapatkan nilai arus *bolted* gangguan tiga fasa. Tetapi pada standar ini tidak dipertimbangkan berkurangnya kontribusi arus hubung singkat pada tiap satuan waktu, dan waktu pemutusan masing-masing CB (*Circuit Breaker*) dalam melokalisir gangguan. Dengan hasil analisa insiden energi *arc flash* yang diperoleh, akan digunakan untuk menentukan batasan jarak dari titik yang berpotensi terjadi *arc flash* dengan pekerja dan akan ditentukan kategori bahaya *arc flash* beserta jenis alat pelindung diri sesuai dengan standar NFPA 70E yang dipakai oleh pekerja.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Menghitung dan mensimulasikan besar insiden energi *arc flash* pada sistem kelistrikan tegangan 6.3 kV PT. Semen Indonesia Aceh sesuai standar IEEE 1584-2002.
2. Menghitung dan mensimulasikan besar insiden energi *arc flash* setelah dilakukan resetting koordinasi proteksi sesuai standar IEEE 1584-2002.
3. Mencocokkan hasil simulasi ETAP dengan perhitungan manual standar IEEE 1584-2002.
4. Mendapatkan jarak aman pekerja standar IEEE 1584-2002.
5. Mendapatkan kategori resiko yang ditimbulkan dari pengaruh insiden energi *arc flash* sesuai NFPA 70E serta perlengkapan keselamatan diri yang cocok untuk pekerja.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Penentuan besar insiden energi *arc flash* pada masing-masing *switchgear* tegangan menengah (6.3 kV).
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mendapatkan kategori level insiden energi *arc flash* sehingga dapat menentukan jenis dari alat pelindung diri yang harus digunakan.
2. Dapat menentukan jarak aman antara pekerja dengan titik bahaya *arc flash* untuk meminimalisir resiko dampak kecelakaan akibat bahaya *arc flash*.

## 1.5 Metodologi

Pada Tugas Akhir ini metodologi yang digunakan penulis adalah :

1. Studi Literatur

Mempelajari literatur yang berkaitan tentang perhitungan insiden energi arc flash mengacu pada standar IEEE 1584-2002.

2. Pengumpulan Data

Melakukan pengambilan data sistem kelistrikan di PT. Semen Indonesia Aceh yang akan dianalisa bahaya arc flash pada sistem tegangan menengah 6.3 kV.

3. Pemodelan sistem kelistrikan dan simulasi

Memodelkan data-data yang diperoleh kedalam perangkat lunak 12.6.0 dan kemudian dilakukan simulasi untuk mendapatkan hasil data-data yang diinginkan.

4. Analisa Data

Menganalisa hasil data dari simulasi insiden energi arc flash yang telah dilakukan dengan standar IEEE 1584-2002 yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan penentuan jarak aman pekerja serta alat pelindung diri yang digunakan sesuai NFPA 70E.

5. Penulisan Buku Tugas Akhir

Pembuatan laporan tentang apa yang telah dikerjakan. Dalam hal ini menunjukkan hasil besarnya insiden energi *arc flash* dengan standar IEEE 1584-2002 pada bus-bus tegangan menengah 6.3 kV di PT. Semen Indonesia Aceh serta jarak aman pekerja dari bahaya *arc flash*.

## 1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi dan manfaat sebagai berikut :

1. Pembelajaran dan penyelesaian persoalan tentang insiden energi *arc flash* yang dihasilkan.
2. Pengelompokan klasifikasi besar insiden energi arc flash sesuai dengan perlengkapan pakaian keselamatan yang diharapkan dapat menghindari jatuhnya korban bagi para pekerja disekitar area kerja yang dapat menimbulkan bahaya *arc flash*.
3. Menjadi referensi untuk penelitian berikutnya ketika dibutuhkan informasi tentang besarnya insiden energi *arc flash* dengan standar IEEE 1584-2002.

## 1.7 Sistematika Penulisan

### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, relevansi, dan sistematika penulisan.

### BAB II : *ARC FLASH* STANDAR IEEE 1584-2002

Bab ini membahas tentang definisi *arc flash*, salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya insiden energi *arc flash*, perhitungan insiden energi *arc flash* sesuai standar IEEE 1584-2002, batas jarak perlindungan dari bahaya *arc flash*, serta pengelompokan kategori insiden energi *arc flash* dengan perlengkapan alat pelindung diri sesuai NFPA 70E.

### BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN INDONESIA ACEH

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan yang ada di PT. Semen Indonesia Aceh, yaitu data tranformator serta data beban.

### BAB IV : SIMULASI DAN ANALISA *ARC FLASH* DI PT. SEMEN INDONESIA ACEH

Bab ini membahas mengenai analisa perhitungan energi *arc flash* yang dihasilkan sesuai standar IEEE 1584-2002, serta dilakukan perhitungan jarak aman pekerja dan jenis perlindungan apa yang harusnya digunakan berdasarkan kategori bahaya *arc flash*.

### BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan dari Tugas Akhir.

## BAB 2

### TEORI PENUNJANG

#### 2.1 Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan salah satu jenis gangguan pada sistem tenaga listrik. Kerusakan isolasi peralatan, kerusakan mekanis, kerusakan peralatan listrik akibat *overload* dan panas yang berlebihan merupakan faktor utama penyebab hubung singkat. Gangguan pada hubung singkat akan menimbulkan nilai aliran arus yang besar menuju ke titik gangguan. Aliran arus yang besar tersebut merupakan jumlah dari arus kontribusi generator dan beban berupa motor, nilai reaktansi peralatan maupun reaktansi pada rangkaian akan mempengaruhi hubung singkat.

Gangguan hubung singkat dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu hubung singkat simetri dan asimetri. Gangguan hubung singkat simetri merupakan hubung singkat tiga fasa ke tanah sedangkan hubung singkat asimetri yaitu hubung singkat satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah. Untuk menghitung besar arus hubung singkat pada sistem distribusi tegangan menengah dapat digunakan persamaan berikut[9].

a. Hubung singkat tiga fasa ke tanah

Adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasa. Berikut merupakan persamaan tersebut.

$$I_{sc3\phi} = \frac{V_{L-N}}{X_1} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- $I_{sc3\phi}$  : arus hubung singkat tiga fasa
- $V_{L-N}$  : tegangan *line to netral*
- $X_1$  : reaktansi urutan positif

b. Hubung singkat antar fasa

Adalah hubung singkat yang terjadi antar dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Berikut merupakan persamaannya.

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{L-L}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3\phi} \approx 0.86 I_{sc3\phi} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- $I_{sc2\phi}$  : arus hubung singkat antar fasa
- $V_{L-L}$  : tegangan *line to line*
- $X_1$  : reaktansi urutan positif
- $X_2$  : reaktansi urutan negatif

c. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Adalah hubung singkat yang melibatkan impedansi urutan nol. Berikut arus hubung singkat tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Berikut persamaannya.

$$I_{sc0\phi} = \frac{3V_{L-N}}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$I_{sc0\phi}$  : arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

$V_{L-N}$  : tegangan *line to netral*

$X_1$  : reaktansi urutan positif

$X_2$  : reaktansi urutan negatif

$X_0$  : reaktansi urutan nol

d. Hubung singkat fasa ke netral

Merupakan hubung singkat yang terjadi antara salah satu fasa dengan netral. Berikut merupakan persamaannya.

$$I_{sc1\phi} = \frac{V_{L-L}/\sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_{LN}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$I_{sc1\phi}$  : arus hubung singkat satu fasa ke netral

$V_{L-L}$  : tegangan *line to line*

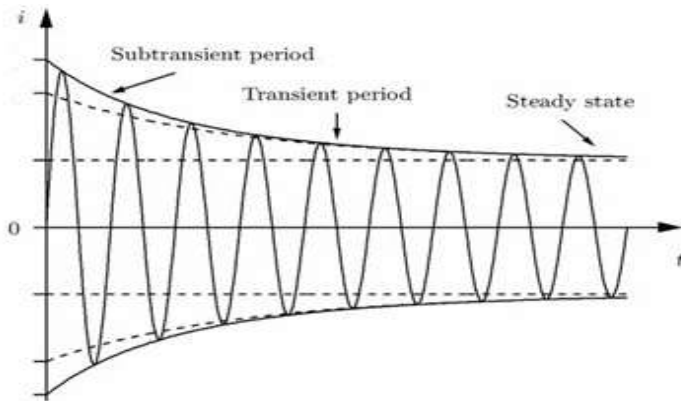
$Z_{LN}$  : impedansi netral

$Z_{sc}$  : impedansi *short circuit*

Gangguan hubung singkat akan menimbulkan nilai *arcing current* yang menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya busur api. Untuk menganalisa hubung singkat dibutuhkan nilai impedansi generator, nilai impedansi kabel, nilai impedansi transformer dan nilai impedansi beban motor serta rating masing-masing sistem peralatan listrik.

Hubung singkat terjadi dalam tiga periode yaitu *subtransient*, *transient*, dan *study state*, dimana pada periode subtransien ( $X''d$ ) terjadi kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle dan mempunyai level arus hubung singkat yang tinggi. Level arus hubung singkat tersebut berangsur menurun pada periode transient ( $X'd$ ) yang terjadi pada kondisi  $\frac{1}{2}$ -4 cycle. Setelah kondisi mencapai 30 cycle disebut periode *study state*, reaktansinya disebut reaktansi sinkron ( $X_d$ ). Tiga periode hubung singkat tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.



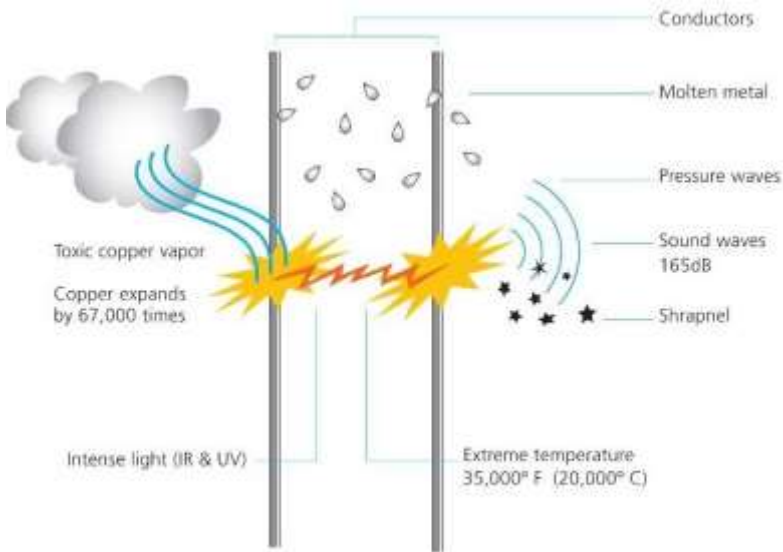


**Gambar 2.1** Gelombang Arus Hubung Singkat

## 2.2 Busur Api Listrik

Menurut *National Fire Protection Association (NFPA) 70E-2004*, *arc flash* adalah kondisi yang berbahaya akibat adanya pelepasan energi yang disebabkan oleh bunga api listrik [1]. Bunga api listrik timbul karena adanya arus gangguan atau disebut *arcing fault* pada sebuah sistem kelistrikan. Penyebab arus gangguan sangat bermacam-macam antara lain, kegagalan isolasi, kegagalan mekanik, debu, korosi, atau kesalahan pekerja yang bekerja pada sistem kelistrikan.

Saat insiden energi *arc flash* maka akan muncul pembakaran dari busur api. Efek yang dihasilkan *arc flash* dapat berupa ledakan, radiasi panas, cahaya yang menyilaukan, dan tekanan yang sangat besar. Temperatur dari radiasi panas yang dihasilkan dapat mencapai sekitar 35.000°F, atau sekitar empat kali panas permukaan matahari. Temperatur yang tinggi juga merubah keadaan konduktor dari padat ke logam cair panas dan uap. Hal tersebut sangat berbahaya Karena dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik dan kecelakaan fatal pada pekerja. Oleh karena itu level busur api harus diminimalkan sesuai standar NFPA 70E. Gambar 2.2 menunjukkan efek yang ditimbulkan oleh *arc fault*.



**Gambar 2.2** Efek Arc Fault

### 2.2.1 Arcing Current[2]

Berdasarkan standar IEEE 1584-2002, perhitungan *arcing current* merupakan langkah awal dalam perhitungan level energi *arc flash*. Nilai *arcing current* diperoleh berdasarkan arus hubung singkat tiga fasa. Berikut adalah persamaan untuk perhitungan *arcing current* pada sistem tegangan dibawah 1000V.

$$\lg I_a = K + 0.662 \lg I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V(\lg I_{bf}) \\ 0.00304 G (\lg I_{bf}) \quad (2.5)$$

Keterangan :

$\lg$  :  $\log_{10}$

$I_a$  : arus *arcing* (kA)

$V$  : tegangan sistem (kV)

$G$  : jarak antar konduktor (mm)

$K$  : -0.153 untuk konfigurasi terbuka dan -0.097 untuk konfigurasi box

$I_{bf}$  : *bolted fault current* pada gangguan tiga fasa (*symmetrical RMS*) (kA)

Sedangkan pada sistem tegangan lebih dari 1000V menggunakan persamaan berikut [2].

$$\lg I_a = 0.00402 + 0.983 \lg I_{bf} \quad (2.6)$$

Dari persamaan (2.6) dapat dijabarkan menjadi :

$$\lg I_a - 0.983 \lg I_{bf} = 0.00402$$

$$\lg I_a - \lg I_{bf}^{0.983} = 0.00402$$

$$\lg \left( \frac{I_a}{I_{bf}^{0.983}} \right) = 0.00402$$

$$\frac{I_a}{I_{bf}^{0.983}} = 10^{0.00402}$$

$$\frac{I_a}{I_{bf}^{0.983}} = 1.00929$$

$$I_a = 1.00929 I_{bf}^{0.983} \quad (2.7)$$

### 2.2.2 Insiden Energi [2]

Menurut standar IEEE 1584-2002, perhitungan nilai insiden energi *arc flash* menggunakan persamaan sebagai berikut. Pertama digunakan  $\log_{10}$  *normalized*. Persamaan tersebut berdasarkan data *normalized* waktu arcing yaitu 0.2 detik dan jarak dari titik arcing ke pekerja yaitu 610 mm. Secara keseluruhan persamaannya sebagai berikut.

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011 G \quad (2.8)$$

$$E_n = I_a^{1.081} 10^{(K_1 + K_2 + 0.0011 G)} \quad (2.9)$$

Keterangan :

- $E_n$  : insiden energi (J/cm) *normalized* untuk waktu dan jarak
- $K_1$  : -0.792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) dan  
-0.555 untuk konfigurasi box (*enclosure equipment*)

- $K_2$  : 0 untuk sistem *ungrounded and high-resistance grounded*  
 dan -0.113 untuk sistem *grounded*  
 $G$  : gap antara konduktor (mm)

Adanya variabel waktu, ( $x$ ) faktor dan jarak antara peralatan dengan pekerja maka akan menghasilkan jumlah energi yang dilepaskan ke udara. Besarnya insiden energi dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$E = 4,184 Cf En \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610}{D} \right)^x \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.7), (2.9) dan (2.10), maka persamaan besar insiden energi untuk tegangan menengah dapat disederhanakan dengan persamaan (2.11)

$$E = Cf \left( 1,00929 Ibf^{0,983} \right)^{1,081} 10^{(K_1 + K_2 + 0,0011 G)} \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610}{D} \right)^x \quad (2.11)$$

dimana,

- $E$  : insiden energi (J/cm<sup>2</sup>)  
 $Cf$  : faktor perhitungan bernilai 1.0 untuk tegangan diatas 1 kV  
 faktor perhitungan bernilai 1.5 untuk tegangan dibawah 1 kV  
 $t$  : waktu *arcing* (detik)  
 $D$  : jarak dari titik *arc flash* ke pekerja (mm)  
 $x$  : eksponen jarak, dapat dilihat pada tabel 2.1

Perhitungan nilai insiden energi juga memperhatikan faktor peralatan, tipikal gap pada setiap bus, kelas tegangan, dan *working distance* yaitu sebagai berikut.

**Tabel 2.1** Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan [2]

System Voltage (kV)	Equipment Type	Typical Gap Between Conductor (mm)	Distance $x$ Factor
0.208-1	Open	10-40	2
	Switchgear	32	1.473
	MCC and panels	25	1.641

0.208-1	<i>Cable</i>	13	2
>1-5	<i>Open air</i>	102	2
	<i>Switchgear</i>	13-102	0.973
	<i>Cable</i>	13	2
>5-15	<i>Open air</i>	13-153	2
	<i>Switchgear</i>	153	0.973
	<i>Cable</i>	13	2

**Tabel 2.2** *Typical Bus Gaps* [2]

<i>Classes of equipment</i>	<i>Typical bus gap (mm)</i>
<i>15 kV switchgear</i>	152
<i>5 kV switchgear</i>	104
<i>Low voltage switchgear</i>	32
<i>Low voltage MCCs and panelboards cable</i>	25
<i>Cable</i>	13
<i>Other</i>	<i>Not required</i>

**Tabel 2.3** *Typical Working Distance* [2]

<i>Classes of equipment</i>	<i>Typical working distance (mm)</i>
<i>15 kV switchgear</i>	910
<i>5 kV switchgear</i>	910
<i>Low voltage switchgear</i>	610
<i>Low voltage MCCs and panelboards cable</i>	455
<i>Cable</i>	455
<i>Other</i>	<i>To be determined in field</i>

### 2.2.3 Lee Method [2]

Persamaan metode Lee digunakan untuk mencari nilai insiden energi saat level tegangan pada bus lebih dari 15 kV. Berikut persamaan metode Lee berdasarkan standar IEEE 1584-2002.

$$E = 2.42 \times 10^6 V I b f \frac{t}{D^2} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$E$  : insiden energi (J/cm<sup>2</sup>)

$V$  : level tegangan (kV)

$t$  : arving time (second)

$D$  : jarak antara titik arcing dengan pekerja  
 $I_{bf}$  : bolted fault current

### 2.3 Flash Protection Boundary

*Flash protection boundary* adalah batas jarak perlindungan terhadap titik *arc flash*. *Flash protection boundary* merupakan jarak tertentu konduktor aktif yang memungkinkan seseorang terkena bahaya *arc flash* (*arc flash hazard*), sedangkan jarak ini dapat dikategorikan setelah nilai insiden energi *arc flash* diketahui.

*National Fire Protection Association* (NFPA) telah mengembangkan sebuah pendekatan dalam menentukan batasan-batasan khusus yang dirancang untuk melindungi pekerja saat bekerja pada atau dekat peralatan yang bertegangan [3]. Ada 4 batasan perlindungan yang ditetapkan, yaitu :

#### 1. *Flash Protection Boundary*

Dimana seorang pekerja yang berada pada batasan ini masih bisa terkena dampak luka bakar tingkat kedua jika tidak menggunakan alat pelindung diri sesuai standar NFPA, untuk tingkat insiden energinya sebesar  $5 \text{ J/cm}^2$  ( $1.2 \text{ cal/cm}^2$ ).

#### 2. *Limited Approach Boundary*

Batas perlindungan getaran elektrik yang tidak boleh dijangkau oleh seseorang yang tidak mempunyai keahlian dalam bidang terkait kecuali didampingi tenaga ahli.

#### 3. *Restricted Approach Boundary*

Batas perlindungan getaran elektrik yang bisa dijangkau oleh seorang pekerja yang memiliki keahlian dibidang terkait. Ketika menjangkau wilayah tersebut dibutuhkan *shock protection* teknis dan peralatan yang sesuai.

#### 4. *Prohibited Approach Boundary*

Batas perlindungan getaran elektrik yang bisa dijangkau oleh seorang pekerja yang memiliki keahlian dibidang terkait. Ketika menjangkau wilayah tersebut dibutuhkan *shock protection* teknis dan peralatan yang sesuai jika terjadi kontak langsung dengan bagian aktif.

Dalam menentukan batasan perlindungan *arc flash*, diperlukan suatu perhitungan agar mengetahui batasan aman bagi pekerja terhadap peralatan bertegangan. Berikut persamaannya sesuai standar IEEE 1584-

2002 [4]. Untuk level tegangan <15kv menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.13)$$

atau dapat juga dihitung dengan menggunakan metode Lee dengan level tegangan >15 kV.

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 V Ibf \left( \frac{t}{E_B} \right)} \quad (2.14)$$

Keterangan :

- $D_B$  : jarak batas dari titik *arcing* (mm)
- $C_f$  : faktor pengali 1.0 untuk tegangan diatas 1 kV dan 1.5 untuk tegangan dibawah 1 kV
- $E_n$  : *incident energy normalized*
- $E_B$  : *incident energy in J/cm<sup>2</sup> at the boundary distance*
- $t$  : waktu *arcing* (detik)
- $x$  : jarak exponent dari tabel 2.1
- $Ibf$  : *bolted fault current*
- $E_B$  : 5.0 J/cm<sup>2</sup> untuk *bare skin (no hood)* atau rating dari PPE yang diajukan (5.0 J/cm<sup>2</sup> = 1.2 cal/cm<sup>2</sup>)

Berikut merupakan ilustrasi *flash protection boundary*.



**Gambar 2.3** *Flash Protection Boundary*

## 2.4 Pengelompokkan Kategori Energi Busur Api

Pengelompokkan kategori energi busur api dapat ditentukan setelah mendapatkan nilai insiden energi pada masing-masing bus. Pengelompokkan kategori tersebut bertujuan untuk menentukan alat pelindung diri untuk pekerja yang sesuai *personal protection equipment* (PPE) dengan standar NFPA 70E.


**Tabel 2.4** *Protection Clothing Characteristics*

Hazard Category	PPE Description	Arc Rating cal/cm <sup>2</sup>	PPE
0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Undergarment</li> <li>- Long Sleeved Shirt</li> <li>- Long Pants</li> <li>- Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Leather Gloves</li> </ul>	N/A (1.2)	 <p>Kategori 0</p>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Undergarment</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt (FR Coveralls)</li> <li>- Hard Rated Long (FR Coveralls)</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Leather Gloves and Shoes</li> </ul>	4	 <p>Kategori I</p>



2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Undergarment</li> <li>- Arc Rated Sleeved Shirt and Long Pants</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Leather Gloves and Shoes</li> </ul>	8	 <p>Kategori 2</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Underwear</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt and Long Pants</li> <li>- Arc Rated Coveralls</li> <li>- Arc Rated Suited Jacket (25cal)</li> <li>- Arc Rated Suited Pants (25cal)</li> <li>- Arc Suited Hood (25cal)</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Arc Rated Leather Gloves</li> <li>- Leather Shoes</li> </ul>	25	 <p>Kategori 3</p>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Underwear</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt and Long Pants</li> <li>- Arc Rated Coveralls</li> <li>- Arc Rated Suited Jacket (40cal)</li> <li>- Arc Rated Suited Pants (40cal)</li> <li>- Arc Suited Hood (40cal)</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Arc Rated Leather Gloves</li> <li>- Leather Shoes</li> </ul>	40	 <p>Kategori 4</p>

Selain *personal protective equipment* (PPE), pada bus yang beresiko muncul energi busur api perlu diberi label peringatan *arc flash*. Berikut merupakan contoh label peringatan bahaya *arc flash* yang sesuai standar NFPA 70E.

 <b>WARNING</b>	
<b>Arc Flash and Shock Hazard</b>	
<b>Appropriate PPE Required</b>	
82 inch	Flash Hazard Boundary
2.7 cal/cm <sup>2</sup>	Flash Hazard at 36 inches
Category 1	FR Shirt & Pants
4160 VAC	Shock Hazard when cover is removed
1	Glove Class
60 inch	Limited Approach
26 inch	Restricted Approach
7 inch	Prohibited Approach

**Gambar 2.4** *Arc Flash Label*

## 2.5 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele arus lebih adalah rele pengaman yang bekerja terhadap arus lebih. Rele akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (*I<sub>set</sub>*). Rele arus lebih memiliki dua jenis yaitu rele arus lebih waktu (*time overcurrent*) dan rele arus lebih sesaat (*instantaneous*). Time overcurrent relays bekerja dengan delay waktu yang bergantung pada arus yang melalui rele, sedangkan instantaneous relays bekerja tanpa delay waktu yang disengaja dan digunakan untuk pengaman gangguan yang berada di dekat sumber ketika arus gangguan tinggi. Dalam mengatur rele arus lebih harus diperhatikan batasan besarnya arus dimana rele tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Berdasarkan British BS 142-1983, batas pengaturan dalam rentang nominal 1.05-1.3 *I<sub>set</sub>*. Berikut persamaan setting rele[5].

$$I_{set} \geq 1.05 \times I_{nominal} \quad (2.15)$$

$$I_s = \frac{I_{set}}{CT_{ratio}} \quad (2.16)$$

$$Tap = I_s / I_n \quad (2.17)$$

$$I_{set} = tap \times I_n \times CT \quad (2.18)$$

Batasan maksimum juga harus diperhatikan dalam pengaturan rele arus lebih. Persamaan pengaturan batasan maksimum penyetelan adalah sebagai berikut [5].

$$I_{set} \leq 0.8 I_{scmin} \quad (2.19)$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.20)$$

Keterangan :

$I_{set}$  : arus *pickup* (ampere)

$I_s$  : arus *setting* (ampere)

Waktu operasi rele ditentukan dalam pengaturan *time dial*. *Time dial* menunjukkan kecuraman dari kurva rele. Persamaan yang digunakan untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik adalah sebagai berikut [6].

$$Td = \frac{t \cdot \left[ \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}{k} \quad (2.21)$$

Keterangan :

$t$  : waktu operasi (detik)

$Td$  : *time dial*

$I$  : nilai arus (ampere)

$I_{set}$  : arus *pickup* (ampere)

$k$  : koefisien invers 1

$\alpha$  : koefisien invers 2

$\beta$  : koefisien invers 3

**Tabel 2.5** Koefisien Invers *Time Dial* [6]

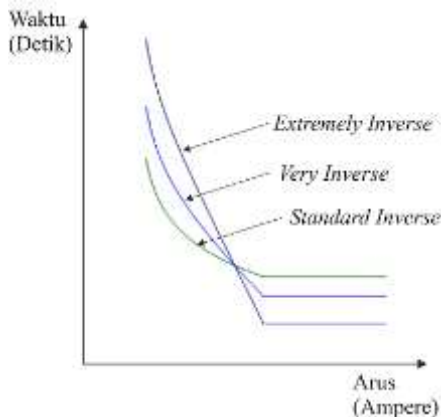
Tipe Kurva	Koefisien		
	K	$\alpha$	B
<i>Standard/Normal Inverse</i>	0.14	0.02	2.97
<i>Very Inverse</i>	13.50	1.00	1.5
<i>Extremely Inverse</i>	80.00	2.00	13.3

Selain sebagai pengaman utama, rele arus lebih juga berfungsi sebagai pengaman *backup*. Pengaman utama dan pengaman *backup* tidak boleh bekerja secara bersamaan. oleh sebab itu dalam pengaturan rele arus lebih harus memperhatikan *time delay* antara rele utama dengan rele *backup*. berdasarkan standar IEEE 242-2001, spesifikasi untuk rele berbasis analog adalah sebagai berikut.

**Tabel 2.6** Spesifikasi Rele Berbasis Analog [6]

Parameter	Nominal (second)
<i>Time delay</i>	0.2-0.35 s
Waktu buka	0.04-0.1 s (2-5 cycle)
<i>Overtravel</i> rele	0.1 s
Faktor keamanan	0.12-0.22 s

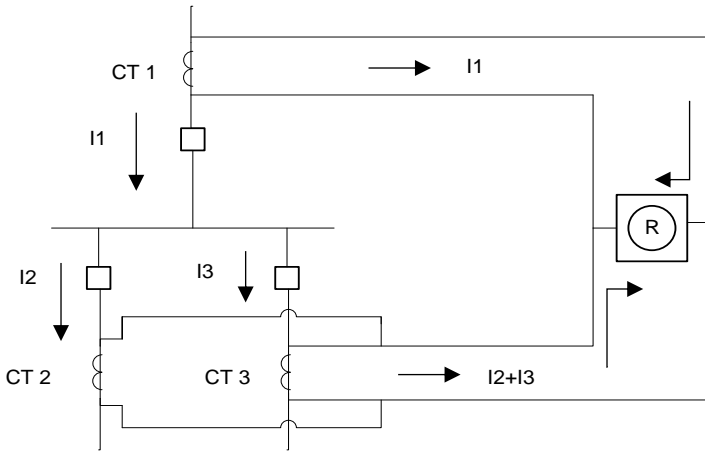
Sedangkan untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* dari rele diabaikan, sehingga waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4 s [7]. Salah satu rele pengaman yang sering digunakan pada sistem tiga fasa adalah rele arus lebih waktu *invers*. Rele ini akan bekerja dengan waktu kerja yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*). Semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu bekerjanya, begitu sebaliknya. Dalam karakteristik kurva *invers*, yang paling umum digunakan tiga jenis kurva, yaitu *kurva inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*, untuk membedakan karakteristik mereka yaitu waktu bekerjanya, dimana *extremely inverse* beroperasi lebih cepat dari *very inverse*, dan *very inverse* lebih cepat dari *inverse* [7]. Berikut adalah gambar karakteristik rele arus lebih.



**Gambar 2.5** Karakteristik *Standard Inverse*, *Very inverse*, dan *Extremely Inverse*

## 2.6 Rele Differensial

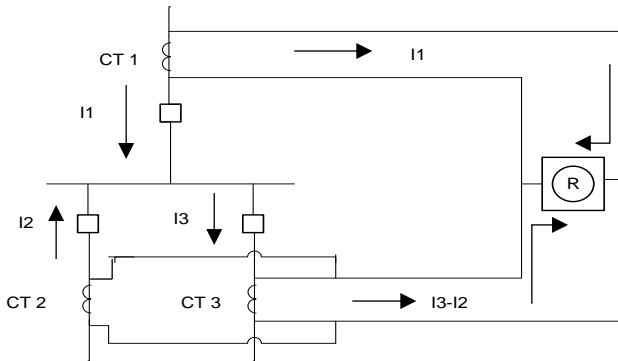
Rele diferensial adalah pengaman yang sangat selektif dan cepat cara kerjanya. Pengaman ini tidak bisa digunakan sebagai pengaman cadangan diluar daerah pengamannya dan penggunaan rele differensial antara lain sebagai pengaman pada generator, tranformator daya, busbar, dan saluran transmisi. Berikut merupakan contoh rele differensial pada kondisi normal, arah aliran arus dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Rele Differensial Keadaan Normal

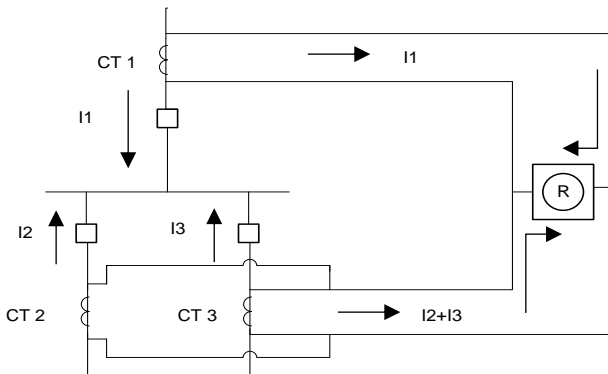
Prinsip kerja rele differensial yaitu berdasarkan hukum kirchoff, dimana nilai arus yang masuk sama dengan nilai arus yang keluar. Rele differensial hanya bekerja pada zona yang diamankan saja dan tidak bekerja jika ada gangguan beban lebih. Zona yang diamankan rele differensial dibatasi oleh CT yang terhubung dari *incoming* dan *outgoing* dari zona yang diamankan. Dari gambar diatas bisa dilihat bahwa dalam keadaan tanpa gangguan, nilai aliran arus yang masuk sama dengan aliran arus yang keluar, sehingga rele tidak bekerja.

Sedangkan bila terjadi gangguan diluar daerah yang diamankan, maka aliran arus menuju kepada titik gangguan, sehingga besar arus  $I_3$  sama dengan penjumlahan arus dari  $I_1$  dan  $I_2$  sehingga rele tidak bekerja. Skema aliran arusnya dapat dilihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Rele Differensial Gangguan Eksternal

Untuk gangguan internal atau berada pada zona yang diamankan, maka aliran arus akan menuju kepada titik gangguan, sehingga terjadi *unbalance* /ketidak seimbangan jumlah arus yang masuk dan keluar, sehingga rele differensial akan bekerja memberi perintah kepada CB yang mengamankan zona gangguan untuk membuka /*trip*. Skema aliran arus pada keadaan gangguan internal dapat dilihat pada gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Rele Differensial Gangguan Internal

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur bagi Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

### **“Studi Perencanaan Koordinasi Proteksi Mempertimbangkan Busur Api Pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002”**

Pembuatan dan penyusunan tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari berbagai keterbatasannya, karena itu penulis memohon maaf atas keterbatasan materi laporan tugas akhir ini. Penulis sangat mengharapkan masukan berupa saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Kami selaku penyusun dan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada pihak – pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Sutikno Alm dan Ningsih Dwi Astuti selaku kedua orang tua penulis yang selalu mendukung, memberi nasihat, serta mendoakan.
2. Bapak Dr. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
3. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D., selaku koordinator tugas akhir bidang studi Teknik Sistem Tenaga Teknik Elektro ITS.
4. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, Msc., Ph.D. dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis.
5. Bapak Abdul Chamid, selaku bagian administrasi tugas akhir bidang studi Teknik Sistem Tenaga Teknik Elektro ITS.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing dan membekali ilmu kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan di kampus tercinta ini, ITS, Surabaya.

7. Oni Vidya Pentasasi beserta keluarga yang telah memberikan dukungan, doa dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Teman – teman LJ Power angkatan '14, terima kasih atas dukungan dan semangat dari kalian.
9. Orang – orang disekitar maupun saudara – saudaraku yang telah mendukung dan mendoakan.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis hingga terselesainya tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah S.W.T selalu memberikan perlindungan, rahmat dan nikmat-Nya bagi kita semua. Aamiin...

Surabaya, Januari 2017

Penulis



## BAB 4

### SIMULASI DAN ANALISA *ARC FLASH* DI PT. SEMEN INDONESIA PABRIK ACEH

#### 4.1 Hasil Simulasi Insiden Energi *Arc Flash* Menggunakan perangkat Lunak ETAP 12.6.0 (*Existing*)

Pada sub bab ini akan ditampilkan data hasil simulasi besarnya energi busur api (*arc flash*) pada bus-bus dengan kondisi *existing* di PT. Semen Indonesia Aceh. Data-data tersebut antara lain, bus ID, arus *bolted fault*, arus *arcing*, FCT (*Fault Clearing Time*), insiden energi, *arc flash boundary*, dan level kategori busur api. Simulasi insiden energi busur api (*arc flash*) menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dengan perhitungan berdasarkan standar IEEE 1584-2002. Simulasi dilakukan pada level tegangan menengah 6.3 kV di PT. Semen Indonesia Aceh. Data tersebut ditampilkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Existing*

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (m)	Kategori Bahaya Busur Api
821MV011	28.872	27.521	0.8	39.87	33.5	Level 4
821MV021	25.932	24.764	1	44.46	37.4	> Level 4
821MV042	25.932	24.764	0.7	31.13	26	Level 4
831MV041	19.514	18.726	0.56	18.41	15.1	Level 3
831MV052	16.513	15.891	0.8	22.02	18.2	Level 3
831MV061	8.366	8.144	0.6	8.02	6.4	Level 3
831MV121	19.079	18.315	0.6	19.25	15.8	Level 3
Bus30	29.388	28.005	1.94	98.54	84.8	> Level 4
Bus31	7.296	7.119	0.4	4.62	3.7	Level 2
Bus157	16.49	15.869	0.4	10.99	8.9	Level 3
BUS-341FN03M01	18.65	17.91	0.4	12.53	10.2	Level 3

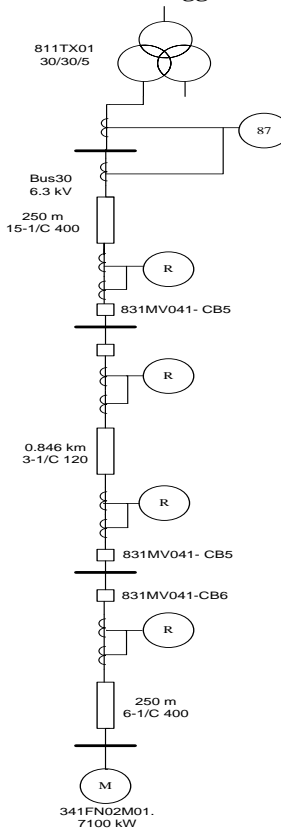
#### 4.2 Studi Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemilihan pada peralatan pengamanan bertujuan untuk mengisolasi suatu sistem pada saat

terjadi gangguan dan untuk mengetahui waktu pemutusan CB (*Circuit Breaker*) ketika terjadi gangguan busur api.

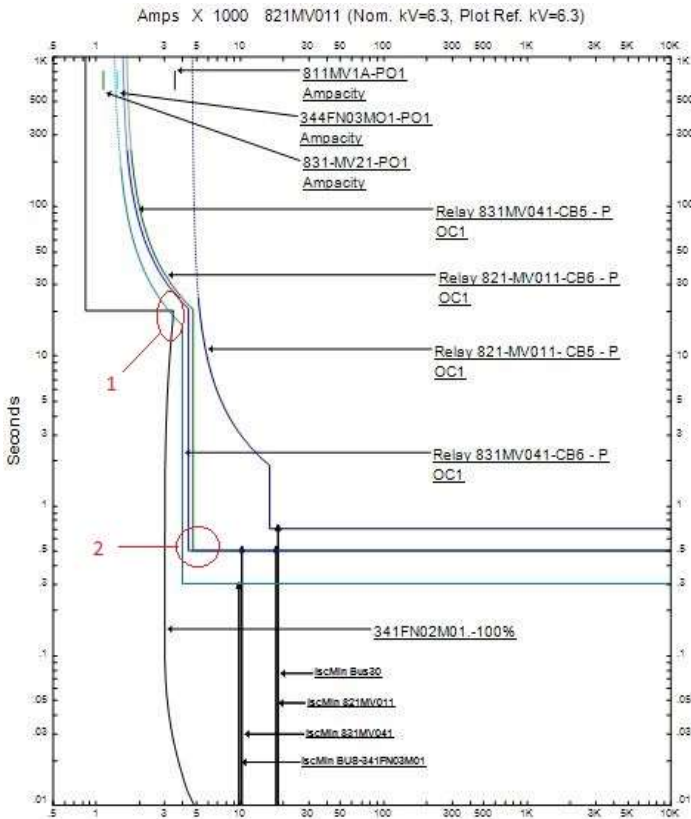
Pada koordinasi rele arus lebih dilakukan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51). Pada perhitungan *setting* rele arus lebih akan dihitung nilai *low set*, *higt set*, *time dial* dan untuk *time delay* dipilih *grading time* 0.2 second, kemudian dianalisa dengan membuat plot rele-rele pada kurva TCC (*Time Current Curve*) pada *software* ETAP 12.6.0. Jika kordinasi belum benar, maka dilakukan *resetting* pada rele arus lebih.

#### 4.2.1 Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1



**Gambar 4.1** Koordinasi Rele Tipikal 1

Tipikal ini merupakan koordinasi sistem pengamanan dari sekunder trafo 3 belitan ID 811TX01 dengan rating 30 MVA sampai dengan beban motor induksi ID 341FN02M01. dengan daya 7100 kW. Koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur dengan beban motor terbesar. Jalur ini melalui 4 rele, yaitu : rele 831MV041-CB6, rele 831MV041-CB5, rele 821MV011-CB6, rele 821MV011-CB5. Single line diagram untuk tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.1. Sedangkan data plot rele kondisi resetting untuk tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Plot Kurva TCC *Existing* Tipikal 1

Dari hasil plot kurva TCC *existing* tipikal 1, dapat dilihat bahwa masih terjadi beberapa kordinasi yang kurang tepat ditunjukkan pada plot kurva TCC gambar 4.2 yang diberi tanda lingkaran merah. Untuk tanda lingkaran merah nomor 1, bahwa kurva invers rele 831MV041-CB6 masih menyentuh kurva *starting* motor, sehingga motor tidak akan bisa *start*, sedangkan untuk tanda lingkaran merah nomor 2, bahwa rele 831MV041-CB5 dan rele 821MV011-CB6 memiliki waktu *delay* yang sama, sehingga ketika terjadi gangguan maka kedua rele tersebut bekerja secara bersamaan.

Dengan hasil analisa koordinasi rele pengaman kondisi *existing* tipikal 1 diatas, maka diperlukan *resetting* untuk memperbaiki masalah koordinasi yang kurang tepat pada tipikal 1. Berikut perhitungannya :

☑ **Rele 831MV041-CB6**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ64
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 1250/5
Isc min Bus 831MV041	: 10.39 kA
Isc max Bus 831MV041	: 16.84 kA
FLA Motor	: 847.8 A
Istarting Motor (LRC)	: 458.7 A

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,2 \cdot \text{FLA Motor} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{Isc min Bus 831MV041}$$

$$1,2 \cdot 847,8 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 10390$$

$$1017,36 < I_{\text{set}} < 8312$$

$$\frac{1017,36}{n_{\text{CT}}} < \text{Tap} < \frac{8312}{n_{\text{CT}}}$$

$$\frac{1017,36}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{8312}{1250/5}$$

$$4,07 < \text{Tap} < 33,25$$

Dipilih Tap 5,43 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 1358 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV041}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV041}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV041}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[ \left( \frac{16840}{1358} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,037 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,037 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 3,2$  detik

### **Instantaneous Pickup**

$$LRC < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \text{ min Bus 831MV041}}$$

$$458,7 < I_{set} < 0,8 \cdot 10390$$

$$458,7 < I_{set} < 8312$$

$$\frac{458,7}{n_{CT}} < Tap < \frac{8312}{n_{CT}}$$

$$\frac{458,7}{1250/5} < Tap < \frac{8312}{1250/5}$$

$$1,83 < Tap < 33,24$$

Dipilih Tap 16 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$$I_{set} = 4000 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,3 detik

### ☒ **Rele 831MV041-CB5**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 2500/5
Isc min Bus 821MV011	: 11,99 kA
Isc max Bus 821MV011	: 26,2 kA

FLA Bus 831MV041

: 1771,9 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \cdot \text{FLA Bus 831MV041} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 831MV041}$

$1,05 \cdot 1171,9 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 1171,9$

$1230,49 < I_{\text{set}} < 2480,66$

$\frac{1230,49}{\frac{n_{\text{CT}}}{2500/5}} < \text{Tap} < \frac{2480,66}{\frac{n_{\text{CT}}}{2500/5}}$

$\frac{1230,49}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2480,66}{2500/5}$

$2,46 < \text{Tap} < 4,96$

Dipilih Tap 3 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$I_{\text{set}} = 1500 \text{ A}$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV011}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV011}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV011}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[ \left( \frac{26200}{1500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$T_d = 0,126 \text{ detik}$

$T_d \geq 0,126 \text{ detik}$

Dipilih  $T_d = 3,2 \text{ detik}$

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV041} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min Bus 821MV011}}$

$1,6 \cdot 1771,9 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 11990$

$2835,04 < I_{\text{set}} < 9592$

$\frac{2835,04}{\frac{n_{\text{CT}}}{2500/5}} < \text{Tap} < \frac{9592}{\frac{n_{\text{CT}}}{2500/5}}$

$\frac{2835,04}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{9592}{2500/5}$

$5,67 < \text{Tap} < 19,18$

Dipilih Tap 8,84 A (*Range* 2 – 80 dengan *step* 1)

$I_{set} = 4420 \text{ A}$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,5 detik

### ☒ **Rele 821MV011-CB6**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 2500/5
Isc min Bus 821MV011	: 11,99 kA
Isc max Bus 821MV011	: 26,2 kA
FLA Bus 831MV041	: 1771,9 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \cdot \text{FLA Bus 831MV041} < I_{set} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 831MV041}$

$1,05 \cdot 1171,9 < I_{set} < 1,4 \cdot 1171,9$

$1230,49 < I_{set} < 2480,66$

$\frac{1230,49}{\frac{n_{CT}}{2500/5}} < \text{Tap} < \frac{2480,66}{\frac{n_{CT}}{2500/5}}$

$\frac{1230,49}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2480,66}{2500/5}$

$2,46 < \text{Tap} < 4,96$

Dipilih Tap 3,2 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$I_{set} = 1600 \text{ A}$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 821MV011}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,4 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 821MV011}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,4 \cdot \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 821MV011}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,4 \cdot \left[ \left( \frac{26200}{1600} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,168 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,168 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 3,2 \text{ detik}$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV04} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min Bus 821MV011}$$

$$1,6 \cdot 1771,9 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 11990$$

$$2835,04 < I_{\text{set}} < 9592$$

$$\frac{2835,04}{n_{CT}} < \text{Tap} < \frac{9592}{n_{CT}}$$

$$\frac{2835,04}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{9592}{2500/5}$$

$$5,67 < \text{Tap} < 19,18$$

Dipilih Tap 9,5 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$$I_{\text{set}} = 4750 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,7 detik

### **☑ Rele 821MV011-CB5**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 3600/5
Isc min Bus30	: 18,54 kA
Isc max Bus30	: 26,78 kA
FLA Bus 821MV011	: 2789,54 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Bus 821MV011} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 821MV011}$$

$$1,05 \cdot 2789,54 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 2789,54$$

$$2886,74 < I_{\text{set}} < 3905,36$$

$$\frac{2886,74}{n_{CT}} < \text{Tap} < \frac{3905,36}{n_{CT}}$$



$$\frac{2886,74}{3600/5} < \text{Tap} < \frac{3905,36}{3600/5}$$

$$4 < \text{Tap} < 5,42$$

Dipilih Tap 4,6 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 3312 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus30}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 2,737 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus30}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{2,737 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus30}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,737 \cdot \left[ \left( \frac{26780}{3312} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,83 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,83 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 1,32 \text{ detik}$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV04} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min Bus 821MV011}}$$

$$1,6 \cdot 1771,9 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 11990$$

$$2835,04 < I_{\text{set}} < 9592$$

$$\frac{2835,04}{\frac{n_{CT}}{2500/5}} < \text{Tap} < \frac{9592}{\frac{n_{CT}}{2500/5}}$$

$$\frac{2835,04}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{9592}{2500/5}$$

$$5,67 < \text{Tap} < 19,18$$

Dipilih Tap 12,47 A (*Range* 2 – 80 dengan *step* 1)

$$I_{\text{set}} = 8978 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,9 detik

☑ **Rele Differensial**

Manufaktur	: ALSTOM
Model	: CAG34
<i>Min Operating Time (Datasheet)</i>	: 0,025 s
<i>Sett Operating Time</i>	: 0,06 s

Berdasarkan rekomendasi dari IEEE, rele differensial dapat beroperasi dari waktu 1 *cycle* hingga 3 *cycle*. Berikut ini merupakan *setting operation time* rele differensial dengan frekuensi 50 Hz.

❖ Perhitungan untuk 1 *cycle*

$$waktu = \frac{cycle}{frekuensi} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s}$$

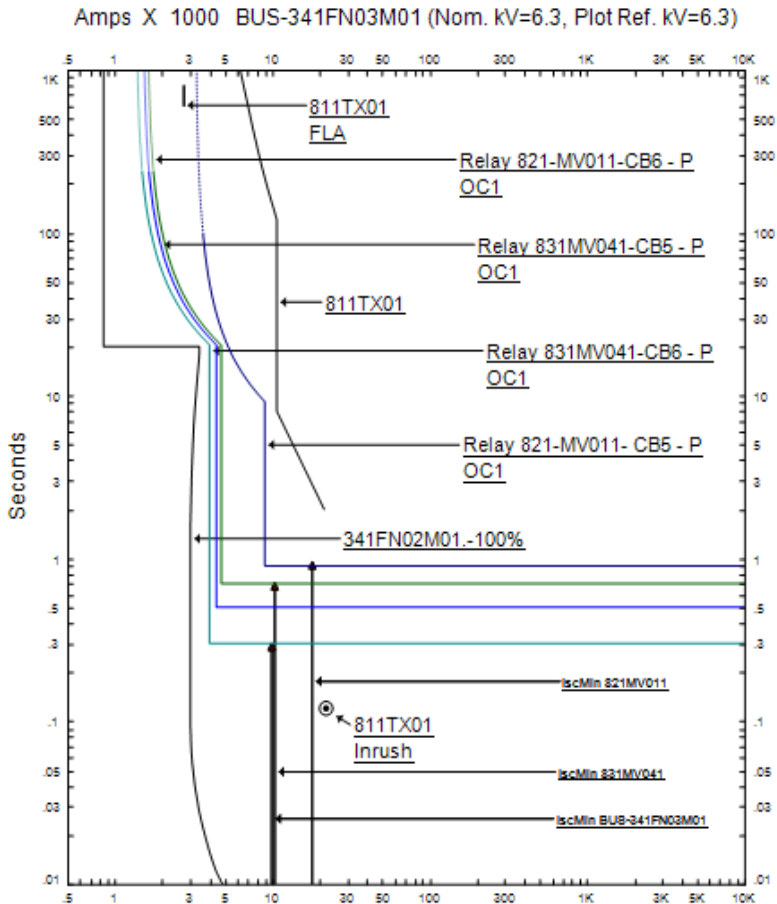
❖ Perhitungan untuk 2 *cycle*

$$waktu = \frac{cycle}{frekuensi} = \frac{2}{50} = 0,04 \text{ s}$$

❖ Perhitungan untuk 3 *cycle*

$$waktu = \frac{cycle}{frekuensi} = \frac{3}{50} = 0,06 \text{ s}$$

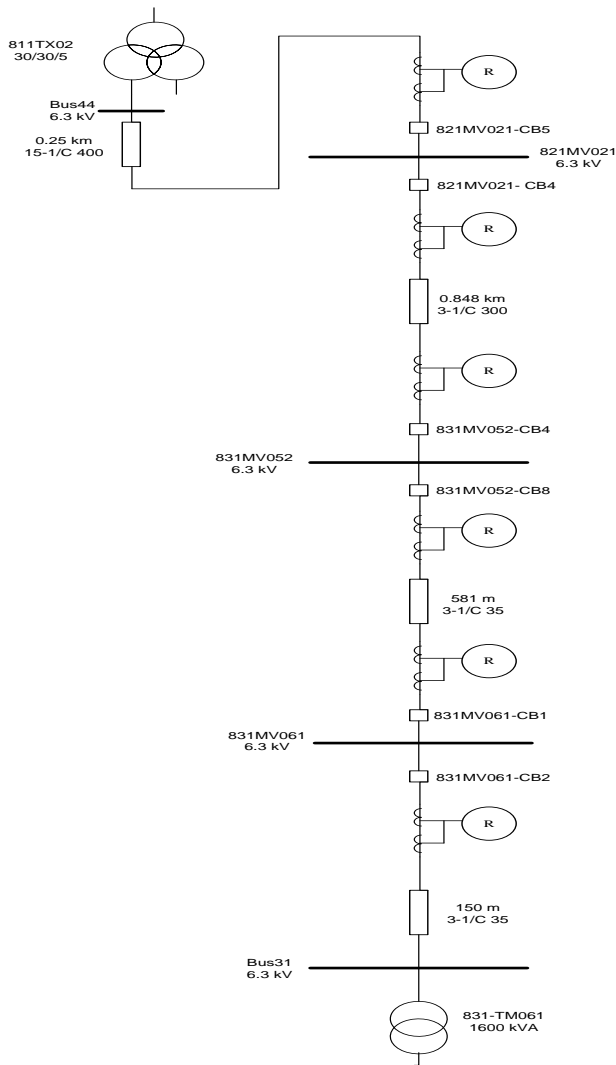
Dari perhitungan diatas maka *setting* waktu yang digunakan adalah 3 *cycle* atau 0,06 s. Hal tersebut sesuai dengan *datasheet* rele differensial ALSTOM tipe CAG34 yang memiliki waktu operasi diatas 0,025 s. Dari data hasil reseting rele diatas, selanjutnya dilakukan simulasi kordinasi proteksi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 untuk mengetahui waktu kerja rele pengaman pada tipikal 1.



**Gambar 4.3** Plot Kurva TCC *Resetting* Tipikal 1

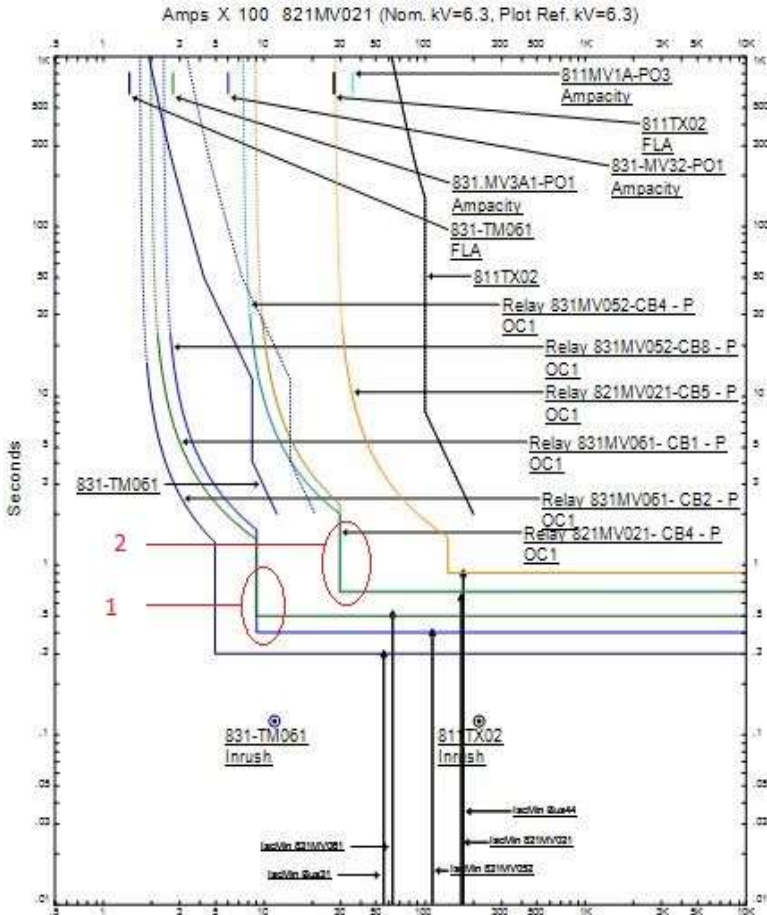
Dengan hasil perhitungan pada *resetting* tipikal 1 diatas didapatkan plot kurva TCC seperti pada gambar 4.3. Untuk hasil *resetting* dapat dilihat bahwa kurva invers rele 831MV041-CB6 sudah tidak lagi memotong kurva starting motor. Selain itu *grading time* antar rele 831MV041-CB5 dan rele 821MV011-CB6 sudah berbeda sehingga rele tidak akan bekerja bersamaan.

4.2.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2



Gambar 4.4 Koordinasi Rele Tipikal 2

Koordinasi rele tipikal 2 merupakan jalur terpanjang. Jalur ini melalui 6 rele, antara lain ; rele 831MV061-CB2, rele 831MV061-CB1, rele 831MV052-CB8, rele 831MV052-CB4, rele 821MV021-CB4, dan rele 821MV021-CB5. Koordinasi tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.4. Sedangkan data plot rele kondisi *existing* untuk tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Plot Kurva TCC *Existing* Tipikal 2

Dari hasil plot kurva TCC *existing* tipikal 2, dapat dilihat bahwa masih terjadi beberapa kordinasi yang kurang tepat ditunjukkan pada plot kurva TCC gambar 4.5 yang diberi tanda lingkaran merah. Untuk tanda lingkaran merah nomor 1, bahwa *time delay* kurva rele 831MV052-CB8 mendahului *time delay* rele 831MV061-CB1 sehingga rele 831MV052-CB8 bekerja terlebih dahulu, sedangkan untuk tanda lingkaran merah nomor 2, bahwa rele 831MV052-CB4 dan rele 821MV021-CB4 memiliki waktu *delay* yang sama, sehingga ketika terjadi gangguan maka kedua rele tersebut bekerja secara bersamaan.

Dengan hasil analisa koordinasi rele pengaman kondisi *existing* tipikal 2 diatas, maka diperlukan *resetting* untuk memperbaiki masalah koordinasi yang kurang tepat pada tipikal 2. Berikut perhitungannya :

☑ **Rele 831MV061- CB2**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 400/5
Isc min Bus 831MV061	: 6,37 kA
Isc max Bus 831MV061	: 7,94 kA
FLA Bus Bus31	: 146,6 A

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Bus31} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus31}$$

$$1,05 \cdot 146,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 146,6$$

$$153,93 < I_{\text{set}} < 205,24$$

$$\frac{153,93}{\frac{n_{CT}}{400/5}} < \text{Tap} < \frac{205,24}{\frac{n_{CT}}{400/5}}$$

$$\frac{153,93}{400/5} < \text{Tap} < \frac{205,24}{400/5}$$

$$1,92 < \text{Tap} < 2,56$$

Dipilih Tap 2,14 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 171,2 \text{ A}$$

**Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 831MV061}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV061}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV061}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[ \left( \frac{7940}{171,2} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$T_d = 0,057$  detik

$T_d \geq 0,057$  detik

Dipilih  $T_d = 1,8$  detik

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \cdot I_{sc} \text{ min Bus 831MV061} < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc} \text{ min Bus 831MV061}$

$1,6 \cdot 146,6 < I_{set} < 0,8 \cdot 6370$

$234,56 < I_{set} < 5096$

$\frac{234,56}{n_{CT}} < \text{Tap} < \frac{5096}{n_{CT}}$

$\frac{234,56}{400/5} < \text{Tap} < \frac{5096}{400/5}$

$2,93 < \text{Tap} < 63,7$

Dipilih Tap 22,45 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$I_{set} = 1796$  A

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,1 detik

### **☑ Rele 831MV061- CB1**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 400/5
Isc min Bus 831MV052	: 11,27 kA
Isc max Bus 831MV052	: 14,99 kA
FLA Bus 831MV061	: 146,6 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Bus 831MV061} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 831MV061}$$

$$1,05 \cdot 146,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 146,6$$

$$153,93 < I_{\text{set}} < 205,24$$

$$\frac{153,93}{\frac{n_{\text{CT}}}{400/5}} < \text{Tap} < \frac{205,25}{\frac{n_{\text{CT}}}{400/5}}$$

$$\frac{153,93}{400/5} < \text{Tap} < \frac{205,25}{400/5}$$

$$1,92 < \text{Tap} < 2,56$$

Dipilih Tap 2,5 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 200 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 831MV052}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 831MV052}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 831MV052}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[ \left( \frac{7940}{200} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,164 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,164 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 2 \text{ detik}$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV061} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min Bus 831MV052}}$$

$$1,6 \cdot 146,6 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 11270$$

$$< I_{\text{set}} < 9016$$

$$\frac{234,56}{\frac{n_{\text{CT}}}{400/5}} < \text{Tap} < \frac{9016}{\frac{n_{\text{CT}}}{400/5}}$$

$$\frac{234,56}{400/5} < \text{Tap} < \frac{9016}{400/5}$$

$$2,93 < \text{Tap} < 112,7$$

Dipilih Tap 26,62 A (*Range* 2 – 80 dengan *step* 1)



$$I_{\text{set}} = 2130 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,3 detik

### ☒ **Rele 831MV052-CB8**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 400/5
Isc min Bus 831MV052	: 11,27 kA
Isc max Bus 831MV052	: 14,99 kA
FLA Bus 831MV061	: 146,6 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Bus 831MV061} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 831MV061}$$

$$1,05 \cdot 146,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 146,6$$

$$153,93 < I_{\text{set}} < 205,24$$

$$\frac{153,93}{\frac{n_{CT}}{400/5}} < \text{Tap} < \frac{205,25}{\frac{n_{CT}}{400/5}}$$

$$\frac{153,93}{400/5} < \text{Tap} < \frac{205,25}{400/5}$$

$$1,92 < \text{Tap} < 2,56$$

Dipilih Tap 3 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 240 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 831MV052}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,4 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 831MV052}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,4 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 831MV052}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,4 \cdot \left[ \left( \frac{7940}{240} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,2 \text{ detik}$$

$T_d \geq 0,2$  detik

Dipilih  $T_d = 2,5$  detik

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV061} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min Bus 831MV052}$

$1,6 \cdot 146,6 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 11270$

$< I_{\text{set}} < 9016$

$\frac{234,56}{n_{\text{CT}}} < \text{Tap} < \frac{9016}{n_{\text{CT}}}$

$\frac{234,56}{400/5} < \text{Tap} < \frac{9016}{400/5}$

$2,93 < \text{Tap} < 112,7$

Dipilih Tap 30,48 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$I_{\text{set}} = 2438$  A

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,5 detik

### **☒ Rele 831MV052-CB4**

Manufaktur : SIEMENS

Model : 7SJ62

Kurva : IEC - Normal Inverse

Rasio CT : 1250/5

Isc min Bus 821MV021 : 17,07 kA

Isc max Bus 821MV021 : 23,07 kA

FLA Bus 831MV052 : 770,24 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \cdot \text{FLA Bus 831MV052} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 831MV052}$

$1,05 \cdot 770,24 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 770,24$

$808,75 < I_{\text{set}} < 1078,34$

$\frac{808,75}{n_{\text{CT}}} < \text{Tap} < \frac{1078,34}{n_{\text{CT}}}$

$\frac{808,75}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{1078,34}{1250/5}$

$3,24 < \text{Tap} < 4,31$

Dipilih Tap 3,5 A (*Range 1 – 12 dengan step 0,1*)

$I_{\text{set}} = 875$  A

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 821MV021}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 821MV021}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,5 \cdot \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 821MV021}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \cdot \left[ \left( \frac{23070}{875} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,24 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,24 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 2$  detik

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV052} < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \text{ min Bus 821MV021}}$$

$$1,6 \cdot 770,24 < I_{set} < 0,8 \cdot 17070$$

$$1232,38 < I_{set} < 13656$$

$$\frac{1232,38}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{13656}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$$

$$\frac{1232,38}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{13656}{1250/5}$$

$$4,93 < \text{Tap} < 54,62$$

Dipilih Tap 11,17 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$$I_{set} = 2793 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,7 detik

### ☒ **Rele 821MV021- CB4**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 1250/5
Isc min Bus 821MV021	: 17,07 kA

Isc max Bus 821MV021 : 23,07 kA  
 FLA Bus 831MV052 : 770,24 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \cdot \text{FLA Bus 831MV052} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 831MV052}$

$1,05 \cdot 770,24 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 770,24$

$808,75 < I_{\text{set}} < 1078,34$

$\frac{808,75}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{1078,34}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$

$\frac{808,75}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{1078,34}{1250/5}$

$3,24 < \text{Tap} < 4,31$

Dipilih Tap 4 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$I_{\text{set}} = 1000 \text{ A}$

### **Time Dial**

$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,6 detik

$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$

$T_d = \frac{0,6 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$

$T_d = \frac{0,6 \cdot \left[ \left( \frac{23070}{1000} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$

$T_d = 0,28 \text{ detik}$

$T_d \geq 0,28 \text{ detik}$

Dipilih  $T_d = 2,5 \text{ detik}$

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV052} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min Bus 821MV021}$

$1,6 \cdot 770,24 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 17070$

$1232,38 < I_{\text{set}} < 13656$

$\frac{1232,38}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{13656}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$

$\frac{1232,38}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{13656}{1250/5}$

$$4,93 < \text{Tap} < 54,62$$

Dipilih Tap 13,3 A (*Range* 2 – 80 dengan *step* 1)

$$I_{\text{set}} = 3325 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,9 detik

### ☒ **Rele 821MV021-CB5**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 3600/5
Isc min Bus44	: 17,56 kA
Isc max Bus44	: 23,61 kA
FLA Bus 821MV021	: 2749,3 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Bus 821MV021} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 821MV021}$$

$$1,05 \cdot 2749,3 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 2749,3$$

$$2886,76 < I_{\text{set}} < 3849,02$$

$$\frac{2886,76}{n_{\text{CT}}} < \text{Tap} < \frac{3849,02}{n_{\text{CT}}}$$

$$\frac{2886,76}{3600/5} < \text{Tap} < \frac{3849,02}{3600/5}$$

$$4 < \text{Tap} < 5,34$$

Dipilih Tap 5 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 3600 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus44}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus44}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,7 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus44}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,7 \cdot \left[ \left( \frac{23610}{3600} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,19 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,19 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 2 \text{ detik}$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 821MV021} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min Bus44}$$

$$1,6 \cdot 2749,3 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 17560$$

$$4398,88 < I_{\text{set}} < 14048$$

$$\frac{4398,88}{\frac{n_{CT}}{3600/5}} < \text{Tap} < \frac{14048}{\frac{n_{CT}}{3600/5}}$$

$$\frac{4398,88}{\frac{n_{CT}}{3600/5}} < \text{Tap} < \frac{14048}{\frac{n_{CT}}{3600/5}}$$

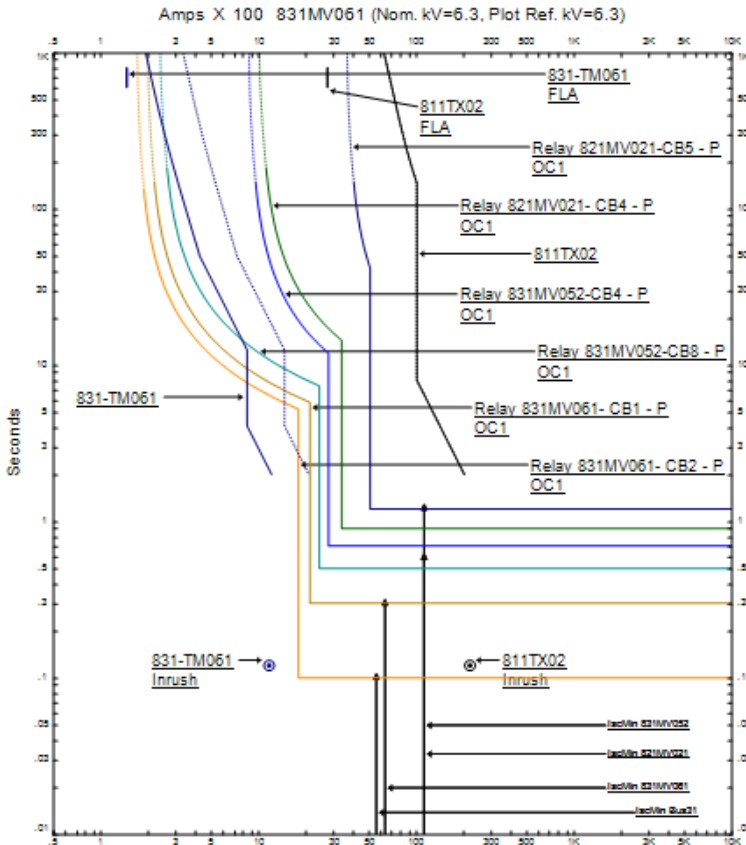
$$6,11 < \text{Tap} < 19,51$$

Dipilih Tap 7 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$$I_{\text{set}} = 5040 \text{ A}$$

### **Time Delay**

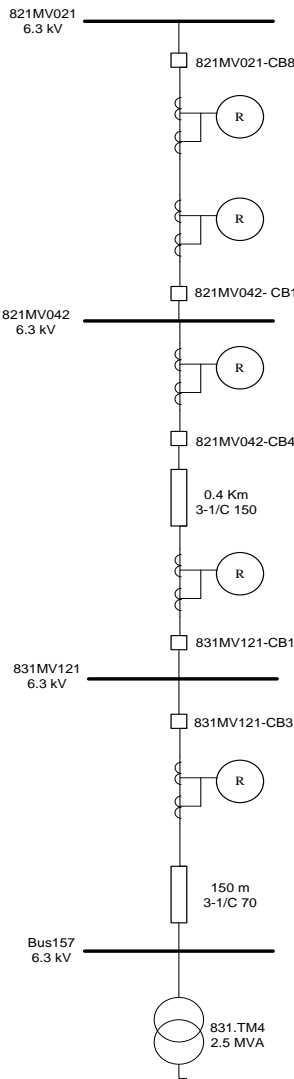
Dipilih *Time Delay* 1.2 detik



**Gambar 4.6** Plot Kurva TCC *Resetting* Tipikal 2

Dengan hasil perhitungan pada *resetting* tipikal 2 diatas didapatkan plot kurva TCC seperti pada gambar 4.6. Untuk hasil *resetting* dapat dilihat bahwa *time delay* kurva rele 831MV052-CB8 tidak mendahului *time delay* rele 831MV061-CB1 sehingga rele 831MV052-CB8 tidak bekerja terlebih dahulu, sedangkan untuk rele 831MV052-CB4 dan rele 821MV021-CB4 sudah tidak memiliki waktu *delay* yang sama, sehingga ketika terjadi gangguan maka rele 831MV052-CB4 bekerja terlebih dahulu dan kemudian baru rele 821MV021-CB4 yang bekerja.

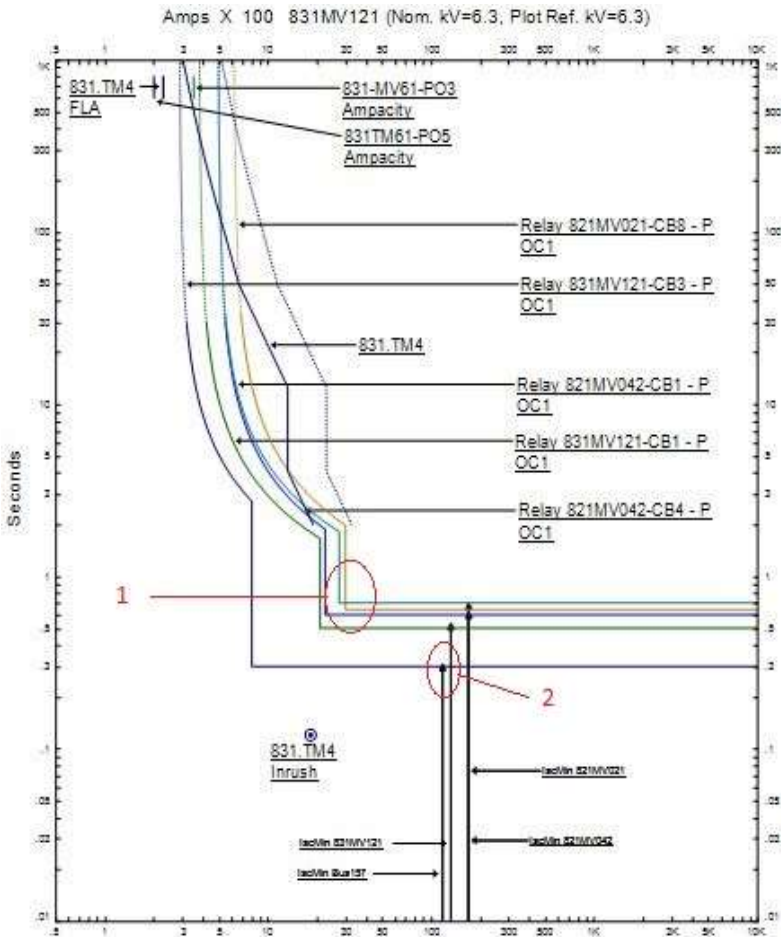
4.2.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3



Gambar 4.7 Koordinasi Rele Tipikal 3



Koordinasi rele tipikal 3 termasuk jalur yang panjang. Jalur ini melalui 5 rele, antara lain ; rele 831MV121-CB3, rele 831MV121-CB1, rele 821MV042-CB4, rele 821MV042-CB1, dan rele 821MV021-CB8. Koordinasi tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.7. Sedangkan data plot rele kondisi *existing* untuk tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Plot Kurva TCC *Existing* Tipikal 3

Dari hasil plot kurva TCC *existing* tipikal 3, dapat dilihat bahwa masih terjadi beberapa kordinasi yang kurang tepat ditunjukkan pada plot kurva TCC gambar 4.8 yang diberi tanda lingkaran merah nomer 1. Untuk tanda lingkaran merah nomor 1, bahwa *time delay* kurva rele 821MV021-CB8 mendahului *time delay* rele 821MV042-CB1 sehingga rele 821MV021-CB8 bekerja terlebih dahulu, sedangkan untuk tanda lingkaran merah nomor 2 sudah benar, karena kontribusi arus hubung singkat minimum Bus157 mengenai sisi instan rele 831MV121-CB3, sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum, waktu pemutusan akan cepat.

Dengan hasil analisa koordinasi rele pengaman kondisi *existing* tipikal 3 diatas masih perlu perbaikan, maka diperlukan *resetting* untuk memperbaiki masalah koordinasi yang kurang tepat pada tipikal 3. Berikut perhitungannya :

☒ **Rele 831MV121-CB3**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 400/5
Isc min Bus 831MV121	: 13,26 kA
Isc max Bus 831MV121	: 17,39 kA
FLA Trafo 831.TM4	: 229,1 A

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Trafo 831.TM4} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Trafo 831.TM4}$$

$$1,05 \cdot 229,1 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 229,1$$

$$240,55 < I_{\text{set}} < 320,74$$

$$\frac{240,55}{\frac{n_{CT}}{400/5}} < \text{Tap} < \frac{320,74}{\frac{n_{CT}}{400/5}}$$

$$\frac{240,55}{\frac{n_{CT}}{400/5}} < \text{Tap} < \frac{320,74}{\frac{n_{CT}}{400/5}}$$

$$3 < \text{Tap} < 4$$

Dipilih Tap 3,5 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 280 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV121}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV121}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ Bus 831MV121}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[ \left( \frac{17390}{280} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,06 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,06 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 2$  detik

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Trafo 831.TM4} < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \text{ min Bus 831MV121}}$$

$$1,6 \cdot 229,1 < I_{set} < 0,8 \cdot 13260$$

$$366,56 < I_{set} < 10608$$

$$\frac{366,56}{\frac{n_{CT}}{400/5}} < \text{Tap} < \frac{10608}{\frac{n_{CT}}{400/5}}$$

$$\frac{366,56}{400/5} < \text{Tap} < \frac{10608}{400/5}$$

$$4,58 < \text{Tap} < 132,6$$

Dipilih Tap 24.03 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$$I_{set} = 1922 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,1 detik

### ☒ **Rele 831MV121-CB1**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 1250/5
Isc min Bus 821MV042	: 17,07 kA

Isc max Bus 821MV042 : 23,07 kA  
 FLA Bus 831MV121 : 412,4 A

### **Time Overcurrent Pickup**

1,05 . FLA Bus 831MV121 < I<sub>set</sub> < 1,4 . FLA Bus 831MV121

1,05 . 412,4 < I<sub>set</sub> < 1,4 . 412,4

433,02 < I<sub>set</sub> < 577,36

$\frac{433,02}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{577,36}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$

$\frac{433,02}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{577,36}{1250/5}$

1,73 < Tap < 2,31

Dipilih Tap 2 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

I<sub>set</sub> = 500 A

### **Time Dial**

$t = \left[ \left( \frac{I_{scmax \text{ Bus 821MV042}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]^{0,14} \times T_d$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$t = \left[ \left( \frac{I_{scmax \text{ Bus 821MV042}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]^{0,14} \times T_d$

$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[ \left( \frac{I_{scmax \text{ Bus 821MV042}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$

$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[ \left( \frac{23070}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$

Td = 0,17 detik

Td ≥ 0,17 detik

Dipilih Td = 2 detik

### **Instantaneous Pickup**

1,6 . FLA Bus 831MV121 < I<sub>set</sub> < 0,8 . Isc min Bus 821MV042

1,6 . 412,4 < I<sub>set</sub> < 0,8 . 17070

659,84 < I<sub>set</sub> < 13656

$\frac{659,84}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{13656}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$

$\frac{659,84}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{13656}{1250/5}$

$$2,64 < \text{Tap} < 54,62$$

Dipilih Tap 8,3 A (*Range* 2 – 80 dengan *step* 1)

$$I_{\text{set}} = 2075 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,3 detik

### ☒ **Rele 821MV042-CB4**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 1250/5
Isc min Bus 821MV042	: 17,07 kA
Isc max Bus 821MV042	: 23,07 kA
FLA Bus 831MV121	: 412,4 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Bus 831MV121} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 831MV121}$$

$$1,05 \cdot 412,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 412,4$$

$$433,02 < I_{\text{set}} < 577,36$$

$$\frac{433,02}{\frac{n_{\text{CT}}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{577,36}{\frac{n_{\text{CT}}}{1250/5}}$$

$$\frac{433,02}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{577,36}{1250/5}$$

$$1,73 < \text{Tap} < 2,31$$

Dipilih Tap 2,3 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 575 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV042}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,4 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV042}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,4 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV042}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,4 \cdot \left[ \left( \frac{23070}{575} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,22 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,22 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 2,5$  detik

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 831MV121} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min Bus 821MV042}$$

$$1,6 \cdot 412,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 17070$$

$$659,84 < I_{\text{set}} < 13656$$

$$\frac{659,84}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{13656}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$$

$$\frac{659,84}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{13656}{1250/5}$$

$$2,64 < \text{Tap} < 54,62$$

Dipilih Tap 9,14 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$$I_{\text{set}} = 2285 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,5 detik

### **☑ Rele 821MV042-CB1**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 1250/5
Isc min Bus 821MV021	: 17,07 kA
Isc max Bus 821MV021	: 23,07 kA
FLA Bus 821MV042	: 641,5 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA Bus 821MV042} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 821MV042}$$

$$1,05 \cdot 641,5 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 641,5$$

$$673,57 < I_{\text{set}} < 898,1$$

$$\frac{673,57}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{898,1}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$$

$$\frac{673,57}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{898,1}{1250/5}$$

$$2,69 < \text{Tap} < 3,59$$

Dipilih Tap 3 A (*Range* 1 – 12 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 750 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,5 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \cdot \left[ \left( \frac{23070}{750} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,25 \text{ detik}$$

$$T_d \geq 0,25 \text{ detik}$$

Dipilih  $T_d = 2,5$  detik

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 821MV042} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min Bus 821MV021}$$

$$1,6 \cdot 641,5 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 17070$$

$$1026,4 < I_{\text{set}} < 13656$$

$$\frac{1026,4}{n_{\text{CT}}} < \text{Tap} < \frac{13656}{n_{\text{CT}}}$$

$$\frac{1026,4}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{13656}{1250/5}$$

$$4,1 < \text{Tap} < 54,62$$

Dipilih Tap 9,88 A (*Range* 2 – 80 dengan *step* 1)

$$I_{\text{set}} = 2470 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* 0,7 detik

☑ **Rele 821MV021-CB8**

Manufaktur	: SIEMENS
Model	: 7SJ62
Kurva	: IEC - Normal Inverse
Rasio CT	: 1250/5
Isc min Bus 821MV021	: 17,07 kA
Isc max Bus 821MV021	: 23,07 kA
FLA Bus 821MV042	: 641,5 A

**Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \cdot \text{FLA Bus 821MV042} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA Bus 821MV042}$

$1,05 \cdot 641,5 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 641,5$

$673,57 < I_{\text{set}} < 898,1$

$\frac{673,57}{\frac{n_{CT}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{898,1}{\frac{n_{CT}}{1250/5}}$

$\frac{673,57}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{898,1}{1250/5}$

$2,69 < \text{Tap} < 3,59$

Dipilih Tap 3,5 A (*Range 1 – 12 dengan step 0,1*)

$I_{\text{set}} = 875 \text{ A}$

**Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,6 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{0,6 \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax Bus 821MV021}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,6 \cdot \left[ \left( \frac{23070}{875} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$T_d = 0,29 \text{ detik}$

$T_d \geq 0,29 \text{ detik}$

Dipilih  $T_d = 2,5 \text{ detik}$



**Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA Bus 821MV042} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min Bus 821MV021}$$

$$1,6 \cdot 641,5 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 17070$$

$$1026,4 < I_{\text{set}} < 13656$$

$$\frac{1026,4}{\frac{n_{\text{CT}}}{1250/5}} < \text{Tap} < \frac{13656}{\frac{n_{\text{CT}}}{1250/5}}$$

$$\frac{1026,4}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{13656}{1250/5}$$

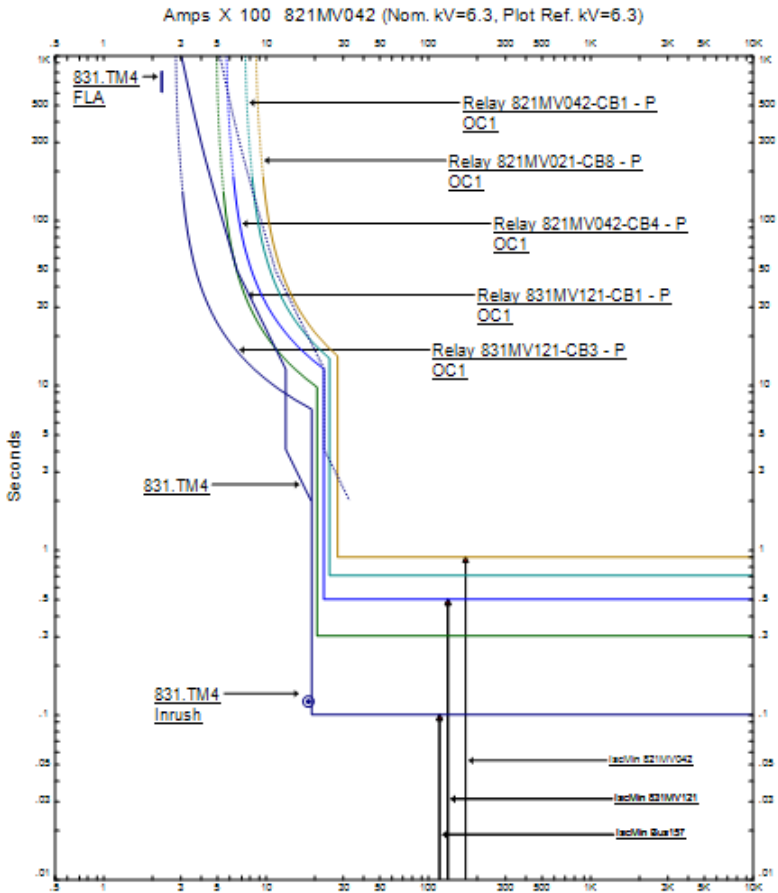
$$4,1 < \text{Tap} < 54,62$$

Dipilih Tap 11,09 A (*Range 2 – 80 dengan step 1*)

$$I_{\text{set}} = 2773 \text{ A}$$

**Time Delay**

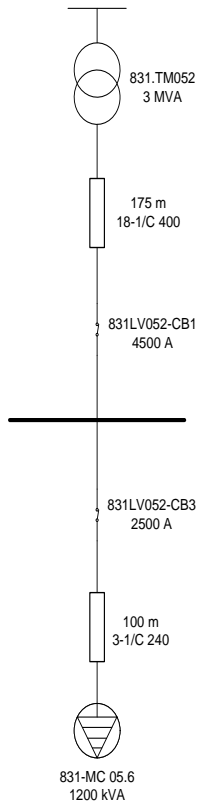
Dipilih *Time Delay* 0,9 detik



**Gambar 4.9** Plot Kurva TCC *Resetting* Tipikal 3

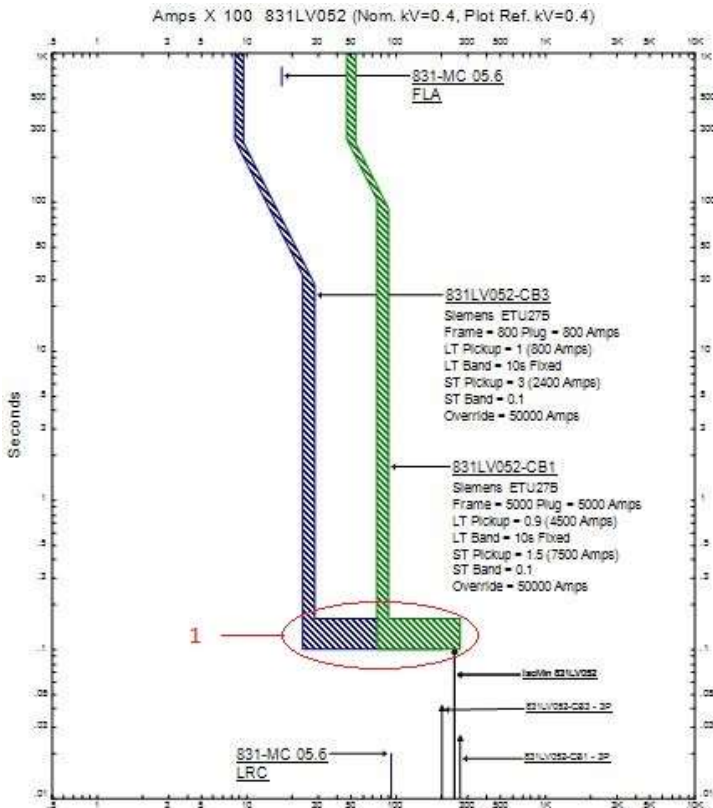
Dengan hasil perhitungan pada *resetting* tipikal 3 diatas didapatkan plot kurva TCC seperti pada gambar 4.9. Untuk hasil *resetting* dapat dilihat bahwa *time delay* kurva rele 821MV021-CB8 tidak mendahului *time delay* rele 821MV042-CB1 sehingga rele 821MV021-CB8 tidak bekerja terlebih dahulu.

#### 4.2.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4



**Gambar 4.10** Koordinasi Rele Tipikal 4

Koordinasi pengaman tipikal 4 merupakan koordinasi pengaman *Circuit Breaker Low Voltage* (LVCB) dengan beban terbesar lump. Jalur ini melalui 2 LVCB terletak pada feeder KILN PREHEATER 831LV052 yaitu 831LV052-CB3 dan 831LV052-CB1. Koordinasi tipikal 4 dapat dilihat pada Gambar 4.10. Sedangkan data plot rele kondisi *existing* untuk tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Plot Kurva TCC *Existing* Tipikal 4

Dari hasil plot kurva TCC *existing* tipikal 4, dapat dilihat bahwa masih terjadi beberapa kordinasi yang kurang tepat ditunjukkan pada plot kurva TCC gambar 4.11 yang diberi tanda lingkaran merah. Untuk tanda lingkaran merah nomor 1, bahwa *time delay* kurva LVCB (*Low Voltage Circuit Breaker*) 831LV052-CB3 dan LVCB 831LV052-CB1 memiliki waktu *delay* yang sama, sehingga ketika terjadi gangguan maka kedua LVCB tersebut bekerja secara bersamaan.

Dengan hasil analisa koordinasi LVCB pengaman kondisi *existing* tipikal 4 diatas, maka diperlukan *resetting* untuk memperbaiki masalah koordinasi yang kurang tepat pada tipikal 4. Berikut perhitungannya :

☒ **LVCB 831LV052-CB3**

Manufacture	: SIEMENS
Jenis Rele	: LV
Model	: ELETRONI TRIP UNIT 27B
Frame	: 800 A
Tap setting	: $I_{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 I_{FLA}$
	: $866 \leq I_{set} \leq 1212$
	: pilih I set: 870
Tap (urr set)	: Iset/Isensor
	: 870/800
	: 1
LT Band	: Fixed
STPU setting (pik-up)	: $I_{set} \leq (I_{sc \min} \text{ bus 831LV052/ Isensor})$
	: $I_{set} \leq (24084 / 800)$
	: $I_{set} \leq 30.1$
	: pilih: 3
Time Delay setting	: 0,1 s

☒ **LVCB 831LV052-CB1**

Manufacture	: SIEMENS
Jenis Rele	: LV
Model	: ELETRONI TRIP UNIT 27B
Frame	: 5000 A
Tap setting	: $I_{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 I_{FLA}$
	: $4330,18 \leq I_{set} \leq 6062,178$
	: pilih I set: 4400
Tap (urr set)	: Iset/Isensor

: 4400/5000

: 0,9

LT Band : Fixed

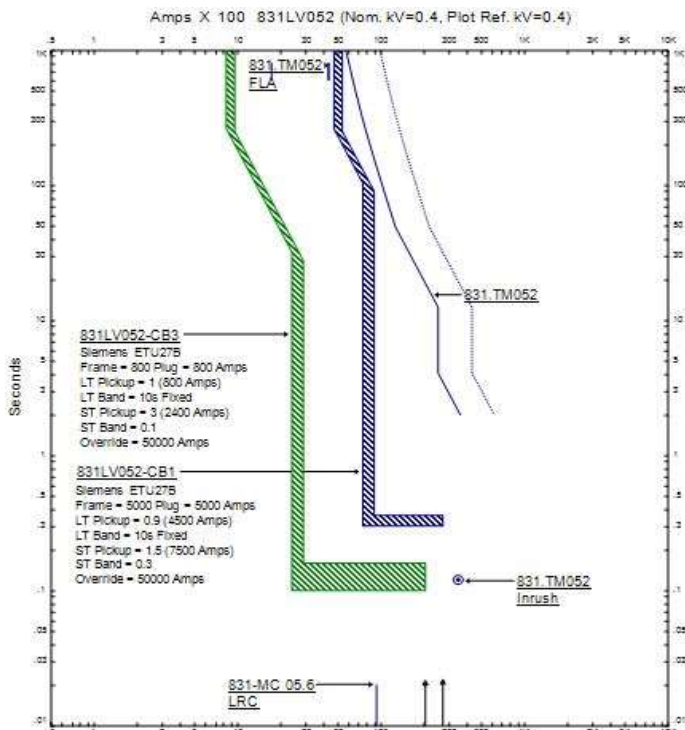
STPU setting (pik-up) :  $I_{set} \leq (I_{SMIN\ 831LV052} / I_{sensor})$

:  $I_{set} \leq (24084 / 5000)$

:  $I_{set} \leq 4,81$

: pilih: 1,5

Time Delay setting : 0,3 s



**Gambar 4.12** Plot Kurva TCC *Resetting* Tipikal 4

### 4.3 Hasil Simulasi Energi Busur Api Menggunakan Perangkat Lunak ETAP (*Resetting*)

Pada sub bab ini akan ditampilkan data hasil simulasi nilai insiden energi busur api setelah dilakukan resetting kordinasi proteksi. Resetting dilakukan untuk memperbaiki kordinasi yang kurang tepat ketika terjadi gangguan yang menyebabkan busur api, sehingga rele proteksi bisa bekerja secara selektif untuk mengamankan lokasi yang terjadi gangguan. Berikut data simulasi ditunjukkan pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting*

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (m)	Kategori Bahaya Busur Api
821MV011	28.872	27.521	0.97	48.35	40.8	> Level 4
821MV021	25.932	24.764	1.27	56.47	47.9	> Level 4
821MV042	25.932	24.764	0.77	34.24	28.6	Level 4
831MV041	19.514	18.726	0.57	18.74	15.4	Level 3
831MV052	16.513	15.891	0.77	21.19	17.5	Level 3
831MV061	8.366	8.144	0.37	4.94	3.9	Level 2
831MV121	19.079	18.315	0.37	11.87	9.6	Level 3
Bus30	29.388	28.005	1.9	96.5	83	> Level 4
Bus31	7.296	7.119	0.17	1.96	1.5	Level 1
Bus157	16.49	15.869	0.17	4.67	3.7	Level 2
BUS-341FN03M01	18.65	17.91	0.37	11.59	9.4	Level 3

**Tabel 4.3** Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting* dengan Penambahan Rele Differensial

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (m)	Kategori Bahaya Busur Api
821MV011	28.872	27.521	0.13	6.48	5.2	Level 2
821MV021	25.932	24.764	0.13	5.78	4.6	Level 2
821MV042	25.932	24.764	0.77	34.24	28.6	Level 4
831MV041	19.514	18.726	0.57	18.74	15.4	Level 3

831MV052	16.513	15.891	0.77	21.19	17.5	Level 3
831MV061	8.366	8.144	0.37	4.94	3.9	Level 2
831MV121	19.079	18.315	0.37	11.87	9.6	Level 3
Bus30	29.388	28.005	0.12	6.09	4.9	Level 2
Bus31	7.296	7.119	0.17	1.96	1.5	Level 1
Bus157	16.49	15.869	0.17	4.67	3.7	Level 2
BUS- 341FN03M01	18.65	17.91	0.37	11.59	9.4	Level 3

Berdasarkan tabel 4.2, jika dibandingkan antara kondisi *existing* dan kondisi *resetting* tidak banyak mengalami peningkatan insiden energi karena sistem kelistrikan sudah terkordinasi secara selektif. Namun pada beberapa bus, masih terdapat energi busur api yang tinggi melebihi batas aman yang diizinkan. Hal ini terjadi karena faktor kinerja peralatan proteksi dalam melokalisir gangguan masih terlalu lama, sehingga diperlukan rele differensial untuk mempercepat pemutusan CB akibat gangguan. Hasil dari resetting dengan penambahan rele differensial dapat dilihat pada tabel 4.3. Waktu pemutusan peralatan proteksi dalam melokalisir gangguan yang lama akan mengakibatkan gangguan semakin besar dan menyebabkan busur api (*arc flash*) yang dapat membahayakan orang disekitar area kerja.

#### 4.3.1 Perhitungan Energi Busur Api (*Resetting*) dengan Standar IEEE 1584-2002

Untuk membandingkan besarnya insiden energi *arc flash* hasil simulasi program ETAP 12.6.0 terhadap perhitungan, maka dilakukan perhitungan menggunakan metode yang sama yaitu standar IEEE 1584-2002, dengan tegangan sistem 6,3 kV untuk *switchgear ungrounded system* pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia pabrik Aceh ( $C_f = 1,0$ ;  $K_1 = -0,555$ ;  $K_2 = 0$ ;  $G = 153 \text{ mm}$ ;  $x = 0,973$ ). Perhitungan energi busur api dilakukan pada masing-masing bus tipikal dengan menggunakan persamaan perhitungan energi busur api untuk bus dengan tegangan 6.3 kV. Persamaan ini berdasarkan literature "*IEEE Guide for Performing Arc\_Flash Hazard Calculation*". Berikut perhitungan masing-masing bus tipikal setelah dilakukan *resetting* :



**a. Bus 821MV011**

**Tabel 4.4** Rating Bus 821MV011

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
821MV011	6.3	27.521	0.97	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(27,521) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,556 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 1,1693$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 14,767 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 14,767 \cdot \left(\frac{0,97}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 14,767 \cdot 4,85 \cdot 0,675$$

$$E = 202,269 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 202,269 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 48,54 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 14,767 \cdot \left(\frac{0,97}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 14,767 \cdot 4,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 40084,24 \text{ mm}$$

$$D_B = 40,08 \text{ m}$$

**b. Bus 821MV021**

**Tabel 4.5** Rating Bus 821MV021

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
821MV021	6.3	24.764	1,27	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(24,764) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,507 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 1,1203$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 13,192 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot \left(\frac{1,27}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 13,192 \cdot 6,35 \cdot 0,675$$

$$E = 236,58 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 236,58 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 56,77 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot \left(\frac{1,27}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot 6,35 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 48111,92 \text{ mm}$$

$$D_B = 48,11 \text{ m}$$

### c. Bus 821MV042

**Tabel 4.6** Rating bus 821MV042

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
821MV042	6.3	24.764	0.77	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(24,764) + 0,0011 \cdot 1,153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,507 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 1,1203$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 13,192 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot \left(\frac{0,77}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 13,192 \cdot 3,85 \cdot 0,675$$

$$E = 143,44 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 143,44 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 34,42 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot \left( \frac{0,77}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot 3,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 28767,98 \text{ mm}$$

$$D_B = 28,76 \text{ m}$$

**d. Bus 831MV041**

**Tabel 4.7** Rating Bus 831MV041

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
831MV041	6.3	18.726	0.57	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(18,726) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,376 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 0,989$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 9,75 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 9,75 \cdot \left( \frac{0,57}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 9,75 \cdot 2,85 \cdot 0,675$$

$$E = 78,48 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 78,48 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 18,83 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 9,75 \cdot \left( \frac{0,57}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 9,75 \cdot 2,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 15478,16 \text{ mm}$$

$$D_B = 15,47 \text{ m}$$

**e. Bus 831MV052**

**Tabel 4.9** Rating Bus 831MV052

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
831MV052	6.3	15.891	0.77	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(15,891) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,298 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 0,912$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 8,166 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 8,166 \cdot \left(\frac{0,77}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 8,166 \cdot 3,85 \cdot 0,675$$

$$E = 88,79 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 88,79 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 21,3 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 8,166 \cdot \left(\frac{0,77}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 8,166 \cdot 3,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 17572,27 \text{ mm}$$

$$D_B = 17,57 \text{ m}$$

**f. Bus 831MV061**

**Tabel 4.10** Rating Bus 831MV061

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
831MV061	6.3	8.144	0.37	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(8,144) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0,985 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 0,598$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 3,963 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 3,963 \cdot \left(\frac{0,37}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 3,963 \cdot 1,85 \cdot 0,675$$

$$E = 20,71 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 20,71 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 4,97 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 3,963 \cdot \left(\frac{0,37}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 3,963 \cdot 1,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 3935,58 \text{ mm}$$

$$D_B = 3,93 \text{ m}$$

### g. Bus 831MV121

**Tabel 4.11** Rating bus 831MV121

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
831MV121	6.3	18,315	0.37	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(18,315) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,365 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 0,978$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 9,506 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 9,506 \cdot \left(\frac{0,37}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 9,506 \cdot 1,85 \cdot 0,675$$

$$E = 49,66 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 49,66 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 11,92 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 9,506 \cdot \left( \frac{0,37}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 9,506 \cdot 1,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 9672,22 \text{ mm}$$

$$D_B = 9,67 \text{ m}$$

**h. Bus30**

**Tabel 4.12** Rating Bus Bus30

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
Bus30	6.3	28.005	1.9	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(28,005) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,564 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 1,178$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 15,066 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 15,066 \cdot \left( \frac{1,9}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 15,066 \cdot 9,5 \cdot 0,675$$

$$E = 404,22 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 404,22 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 97,01 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 15,066 \cdot \left( \frac{1,9}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 15,066 \cdot 9,5 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 83092,97 \text{ mm}$$

$$D_B = 83,09 \text{ m}$$

**i. Bus31**

**Tabel 4.13** Rating bus Bus31

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
Bus31	6.3	7.119	0.17	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(7,119) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0,921 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 0,535$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 3,428 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 3,428 \cdot \left(\frac{0,17}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 3,428 \cdot 0,85 \cdot 0,675$$

$$E = 8,23 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 8,23 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 1,97 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 3,428 \cdot \left(\frac{0,17}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 3,428 \cdot 0,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 1524,59 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,52 \text{ m}$$

**j. Bus157**

**Tabel 4.14** Rating Bus Bus157

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
Bus157	6.3	15.869	0.17	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(15,869) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,298 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 0,911$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 8,147 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 8,147 \cdot \left(\frac{0,17}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 8,147 \cdot 0,85 \cdot 0,675$$

$$E = 19,56 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 19,56 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 4,69 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 8,147 \cdot \left(\frac{0,17}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 8,147 \cdot 0,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 3711,43 \text{ mm}$$

$$D_B = 3,71 \text{ m}$$

#### k. BUS-341FN03M01

**Tabel 4.15** Rating Bus BUS-341FN03M01

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
BUS-341FN03M01	6.3	17.91	0.37	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(17,91) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,355 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 0,968$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 9,29 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 9,29 \cdot \left(\frac{0,37}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 9,29 \cdot 1,85 \cdot 0,675$$

$$E = 48,54 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 48,54 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 11,65 \text{ cal/cm}^2$$



➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 9,29 \cdot \left( \frac{0,37}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 9,29 \cdot 1,85 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 9446,42 \text{ mm}$$

$$D_B = 9,44 \text{ m}$$

### 4.3.2 Perhitungan Energi Busur Api Standar IEEE 1584-2002 dengan Penambahan Rele Differensial

Penambahan rele differensial dilakukan karena pada bus tipikal masih terdapat insiden energi yang tidak diizinkan, sehingga perlu dilakukan pemasangan rele differensial untuk mempercepat waktu untuk melokalisasi gangguan untuk mencegah bahaya busur api. Berikut perhitungan pada bus tipikal yang dipasang rele differensial :

#### a. Bus30

**Tabel 4.17** Rating Bus Bus30 dengan Rele Differensial

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
Bus30	6.3	28.005	0.12	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(28,005) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,564 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 1,178$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 15,066 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 15,066 \cdot \left( \frac{0,12}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 15,066 \cdot 0,6 \cdot 0,675$$

$$E = 25,53 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 25,53 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 6,12 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 15,066 \cdot \left( \frac{0,12}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 15,066 \cdot 0,6 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 4880,74 \text{ mm}$$

$$D_B = 4,88 \text{ m}$$

**b. Bus 821MV011**

**Tabel 4.4** Rating Bus 821MV011

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
821MV011	6.3	27.521	0.13	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(27,521) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,556 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 1,1693$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 14,767 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 14,767 \cdot \left( \frac{0,13}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right)$$

$$E = 4,184 \cdot 14,767 \cdot 0,65 \cdot 0,675$$

$$E = 27,11 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 27,11 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 6,5 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 14,767 \cdot \left( \frac{0,13}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 14,767 \cdot 0,65 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 5191,17 \text{ mm}$$

$$D_B = 5,19 \text{ m}$$

**c. Bus 821MV021**

**Tabel 4.5** Rating Bus 821MV021

BUS ID	Tegangan (kV)	Ia (kA)	Fault Clearing Time (FCT)	Working Distance (mm)
821MV021	6.3	24.764	0.13	914.4

➤ Perhitungan Insiden Energi :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

$$\lg E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot \lg(24,764) + 0,0011 \cdot 153$$

$$\lg E_n = -0,555 + 1,507 + 0,1683$$

$$\lg E_n = 1,1203$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 13,192 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot \left(\frac{0,13}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 4,184 \cdot 13,192 \cdot 0,65 \cdot 0,675$$

$$E = 24,22 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 24,22 \text{ J/cm}^2 \cdot 0,24 = 5,81 \text{ cal/cm}^2$$

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary*

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot \left(\frac{0,13}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \cdot 1 \cdot 13,192 \cdot 0,65 \cdot 102,602]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 4623 \text{ mm}$$

$$D_B = 4,62 \text{ m}$$

#### 4.4 Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi *Existing* dan Setelah *Resetting* (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002)

Setelah pada beberapa sub-bab sebelumnya ditampilkan hasil simulasi serta perhitungan besar insiden energi busur api pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia pabrik Aceh, kali ini akan dijelaskan mengenai perbedaan tersebut. Perbandingan data – data insiden energi ditampilkan dalam tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Data Perbandingan Besar Insiden Energi Untuk Kondisi *Existing* dan *Resetting*

Bus ID	Insiden Energi <i>Existing</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Insiden Energi <i>Resetting</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
821MV011	39,87	Level 4	48,35	> Level 4
821MV021	44,46	> Level 4	56,47	> Level 4
821MV042	31,13	Level 4	34,24	Level 4
831MV041	18,41	Level 3	18,74	Level 3
831MV052	22,02	Level 3	21,19	Level 3
831MV061	8,02	Level 3	4,94	Level 2
831MV121	19,25	Level 3	11,87	Level 3
Bus30	98,54	> Level 4	96,5	> Level 4
Bus31	4,62	Level 2	1,96	Level 1
Bus157	10,99	Level 3	4,67	Level 2
BUS-341FN03M01	12,53	Level 3	11,59	Level 3

Dari tabel 4.18 ditampilkan data besar insiden energi dan kategori level pada waktu *existing* dan setelah *resetting* untuk perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002. Tabel tersebut menunjukkan nilai insiden energi pada kondisi *resetting* lebih kecil dibandingkan pada waktu *existing*. Pada waktu *existing* koordinasi proteksi dari beban menuju sumber untuk pemutusan CB tidak urut dan memiliki waktu yang lebih lama karena rele pengaman disetting awal 0.3 s, sehingga nilai insiden energi menjadi besar. Sedangkan untuk kondisi *resetting* rele pengaman sudah terkordinasi dengan benar dengan waktu pemutusan awal 0.1 s, sehingga waktu untuk melokalisir gangguan semakin cepat. Semakin cepat rele dapat melokalisir gangguan maka semakin kecil nilai insiden energinya.

#### 4.5 Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi *Resetting* dan Setelah Penambahan Rele Differensial (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002)

Dengan masih besarnya nilai insiden energi yang dihasilkan setelah dilakukan *resetting* koordinasi proteksi, maka disarankan untuk menambah peralatan yaitu rele differensial untuk memperkecil nilai insiden energi. Dengan menggunakan rele differensial yang memiliki waktu kerja yang sangat cepat untuk mengamankan bus, maka ketika terjadi gangguan yang dapat menyebabkan busur api, rele differensial bekerja dengan cepat antara waktu 1 – 3 *cycle*. Waktu kerja rele yang cepat dapat menurunkan besar insiden energi busur api, karena salah satu

faktor yang berpengaruh terhadap besar insiden energi busur api adalah waktu. Semakin cepat waktu pemutusan, semakin kecil energi yang dihasilkan. Data perbandingan besar insiden energi maupun kategori bahaya busur api untuk kondisi sebelum dan sesudah penambahan rele differensial dapat dilihat pada tabel 4.19 berikut. Penambahan rele differensial dilakukan hanya pada bus – bus yang memiliki kategori bahaya melebihi kategori 4. Sedangkan untuk yang sudah berada dalam kategori 4, tidak diberi rele diferensial, sehingga tidak terdapat perubahan besar insiden energi.

**Tabel 4.19** Data Perbandingan Besar Insiden Energi Untuk Kondisi Sebelum dan Sesudah Penambahan Rele Differensial

Bus ID	Insiden Energi <i>Resetting</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Insiden Energi <i>Differensial</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
821MV011	48,35	> Level 4	6,48	Level 2
821MV021	56,47	> Level 4	5,78	Level 2
821MV042	34,24	Level 4	34,24	Level 4
831MV041	18,74	Level 3	18,74	Level 3
831MV052	21,19	Level 3	21,19	Level 3
831MV061	4,94	Level 2	4,94	Level 2
831MV121	11,87	Level 3	11,87	Level 3
Bus30	96,5	> Level 4	6,09	Level 2
Bus31	1,96	Level 1	1,96	Level 1
Bus157	4,67	Level 2	4,67	Level 2
BUS-341FN03M01	11,59	Level 3	11,59	Level 3

#### 4.6 Perbandingan Nilai *Flash Protection Boundary* (FPB) Kondisi *Existing*, *Resetting*, dan Setelah Penambahan Rele Diferensial (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002)

*Flash Protection Boundary* merupakan jarak aman pekerja dari titik terjadinya busur api, atau jarak dari titik busur api yang dapat menghasilkan energi 1,2 cal/cm<sup>2</sup>. Dalam jarak batasan ini, seseorang masih diperbolehkan untuk tidak menggunakan alat perlindungan diri yang sesuai, tetapi ketika melewati batasan ini, seseorang diwajibkan untuk memakai alat perlindungan diri yang sesuai. Seberapa jauh jarak FPB ini tergantung dari besar energi yang dihasilkan. Semakin besar energinya maka semakin jauh pula jarak amannya, demikian sebaliknya. Nilai FPB akan dibandingkan ketika kondisi *existing*, *resetting*, dan

setelah penambahan rele differensial. Data – data tersebut akan ditampilkan pada tabel 4.20.

**Tabel 4.20** Data Perbandingan FPB Kondisi *Existing*, *Resetting*, dan Setelah Penambahan Rele Differensial

Bus ID	FPB Existing (m)	FPB Resetting (m)	FPB Differensial (m)
821MV011	33.5	40.8	5.2
821MV021	37.4	47.9	4.6
821MV042	26	28.6	28.6
831MV041	15.1	15.4	15.4
831MV052	18.2	17.5	17.5
831MV061	6.4	3.9	3.9
831MV121	15.8	9.6	9.6
Bus30	84.8	83	4.9
Bus31	3.7	1.5	1.5
Bus157	8.9	3.7	3.7
BUS-341FN03M01	10.2	9.4	9.4

Dari tabel 4.20 diatas, terlihat bahwa jarak aman kondisi *resetting* lebih dekat dari pada kondisi *existing*. Hal ini disebabkan waktu pemutusan CB yang lebih cepat pada kondisi *resetting* dan sebanding dengan besar nilai insiden energi untuk kedua kondisi tersebut. Ketika diberi penambahan rele differensial pada bus Bus30 yang mampu bekerja sangat cepat dalam melokalisir gangguan, jarak aman pekerja ke titik yang berpotensi terjadinya busur api semakin pendek.

#### **4.7 Personal Protective Equipment (PPE) yang Harus Digunakan**

*Personal Protective Equipment* (PPE) merupakan alat perlindungan diri yang harus digunakan ketika melakukan suatu pekerjaan di daerah yang beresiko terkena busur api. Berdasarkan hasil analisa busur api yang dilakukan untuk kondisi setelah *resetting*, maka ada beberapa daerah di PT. Semen Indonesia pabrik Aceh yang memiliki kategori insiden energi diluar standard NFPA 70E, yang artinya belum ada alat perlindungan diri untuk melindungi pekerja dari bahaya busur api. Jenis PPE untuk kondisi setelah *resetting* dapat dilihat pada tabel 4.21. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa perlengkapan alat perlindungan diri manusia terhadap busur

api untuk kategori 4 sangat banyak, dan bahkan jika lebih dari kategori 4, belum ada bahan yang mampu menahan energi busur api untuk alat pelindung diri pekerja. Hal ini membuktikan bahwa energi yang dihasilkan busur api sangatlah berbahaya.

Setelah disarankan untuk menambah pengamanan tambahan pada bus yang memiliki kategori diatas 4, maka dianalisa kembali untuk melihat hasil dari penambahan rele differensial, kategori yang ada adalah kategori 4, 3, 2 dan 1. Jenis PPE untuk kondisi setelah penambahan rele differensial dapat dilihat pada tabel 4.22.

Penting untuk menganalisa dan mengetahui besar energi busur api, sehingga diketahui jenis PPE yang tepat untuk digunakan para pekerja agar terhindar dari bahaya busur api.

**Tabel 4.21** Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah *Resetting*

Bus ID	Insiden Energi Existing (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Jenis PPE
Bus31	2.31	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Undergarment</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt (FR Coveralls)</li> <li>- Hard Rated Long (FR Coveralls)</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Leather Gloves and Shoes</li> </ul>
831MV061	4,94	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Undergarment</li> <li>- Arc Rated Sleeved Shirt and Long Pants</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> </ul>
Bus157	4.67		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Leather Gloves and Shoes</li> </ul>

831MV041	18.74	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Underwear</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt and Long Pants</li> </ul>
831MV052	21.19		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arc Rated Coveralls</li> <li>- Arc Rated Suited Jacket (25cal)</li> <li>- Arc Rated Suited Pants (25cal)</li> </ul>
831MV121	11.87		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arc Suited Hood (25cal)</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> </ul>
BUS-341FN03M01	11.59		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Arc Rated Leather Gloves</li> <li>- Leather Shoes</li> </ul>
821MV042	34,24	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Underwear</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt and Long Pants</li> <li>- Arc Rated Coveralls</li> <li>- Arc Rated Suited Jacket (40cal)</li> <li>- Arc Rated Suited Pants (40cal)</li> <li>- Arc Suited Hood (40cal)</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Arc Rated Leather Gloves</li> <li>- Leather Shoes</li> </ul>
Bus30	98.54	> 4	-
821MV011	48.35		
821MV021	56.47		



**Tabel 4.22** Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah Penambahan Rele Differensial

Bus ID	Insiden Energi Existing (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Jenis PPE
Bus31	1.96	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Undergarment</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt (FR Coveralls)</li> <li>- Hard Rated Long (FR Coveralls)</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Leather Gloves and Shoes</li> </ul>
821MV011	6.48	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Undergarment</li> <li>- Arc Rated Sleeved Shirt and Long Pants</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Hard Hat and Safety Glasses</li> <li>- Hearing Protection</li> <li>- Leather Gloves and Shoes</li> </ul>
821MV021	5.78		
831MV061	4.94		
Bus30	6.09		
Bus157	4.67		
831MV041	18.74	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cotton Underwear</li> <li>- Short Sleeved "T" Shirt</li> <li>- Arc Rated Long Sleeved Shirt and Long Pants</li> <li>- Arc Rated Coveralls</li> <li>- Arc Rated Suited Jacket (25cal)</li> <li>- Arc Rated Suited Pants (25cal)</li> <li>- Arc Suited Hood (25cal)</li> </ul>
831MV052	21.19		
831MV121	11.87		

BUS-341FN03m01	11.59	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Hard Hat and Safety Glasses</i></li> <li>- <i>Hearing Protection</i></li> <li>- <i>Arc Rated Leather Gloves</i></li> <li>- <i>Leather Shoes</i></li> </ul>
821MV042	34.24	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Cotton Underwear</i></li> <li>- <i>Short Sleeved "T" Shirt</i></li> <li>- <i>Arc Rated Long Sleeved Shirt and Long Pants</i></li> <li>- <i>Arc Rated Coveralls</i></li> <li>- <i>Arc Rated Suited Jacket (40cal)</i></li> <li>- <i>Arc Rated Suited Pants (40cal)</i></li> <li>- <i>Arc Suited Hood (40cal)</i></li> <li>- <i>Hard Hat and Safety Glasses</i></li> <li>- <i>Hearing Protection</i></li> <li>- <i>Arc Rated Leather Gloves</i></li> <li>- <i>Leather Shoes</i></li> </ul>
Tidak ada	>40	> 4	-

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi koordinasi proteksi dan busur api pada sistem kelistrikan di PT. Semen Indonesia pabrik Aceh, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil plot kurva arus waktu rele pengaman untuk kondisi *existing* menunjukkan bahwa rele belum terkoordinasi dengan baik. Dapat diambil contoh pada tipikal 2, bahwa *time delay* kurva rele 831MV052-CB8 mendahului *time delay* rele 831MV061-CB1 sehingga rele 831MV052-CB8 bekerja terlebih dahulu, hal tersebut tidak sesuai dan tidak selektif. Dengan *setting* waktu rele 831MV052-CB8 yang terlalu cepat, nilai insiden energi busur api yang dihasilkan pada bus 831MV052 sebesar 22.02 cal/cm<sup>2</sup> yang tergolong ke dalam kategori bahaya 3, dengan waktu pemutusan terhadap gangguan sebesar 0,8 detik.
2. *Resetting* dilakukan dengan menyesuaikan *grading time* rele pengaman berdasarkan koordinasi proteksi menyebabkan insiden energi yang ada semakin kecil, karena pada kondisi *existing* waktu pemutusan pada rele pertama terlalu besar sehingga menyebabkan nilai insiden energi menjadi besar. Dengan mengambil contoh bus yang sama, yaitu bus 831MV052, insiden energinya menjadi 16.52 cal/cm<sup>2</sup> dengan waktu pemutusan sebesar 0.6 detik.
3. *Resetting* dengan penambahan rele differensial dilakukan karena pada bus masing-masing tipikal masih terdapat nilai insiden energi melebihi batas yang diizinkan oleh NFPA 70E, sehingga diperlukan rele differensial untuk mempercepat waktu pemutusan gangguan sehingga nilai insiden energi menjadi kecil. Dengan mengambil contoh pada bus Bus30, insiden energinya pada saat *resetting* yaitu sebesar 98.54 dengan waktu pemutusan sebesar 1.94 detik menjadi 8.13 cal/cm<sup>2</sup> dengan waktu pemutusan sebesar 0.16 detik setelah dilakukan penambahan rele differensial.
4. *Resetting* dengan penambahan rele differensial bus Bus30 merubah *grading time* pada saat terjadi gangguan pada bus Bus30, sehingga jika terjadi gangguan pada bus Bus30 maka rele differensial yang menjadi pengaman utama, sedangkan rele arus lebih menjadi pengaman back up dari rele differensial.

## 5.2 Saran

Dengan mempertimbangkan hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat menjadi masukan untuk kedepannya, yaitu sebagai berikut :

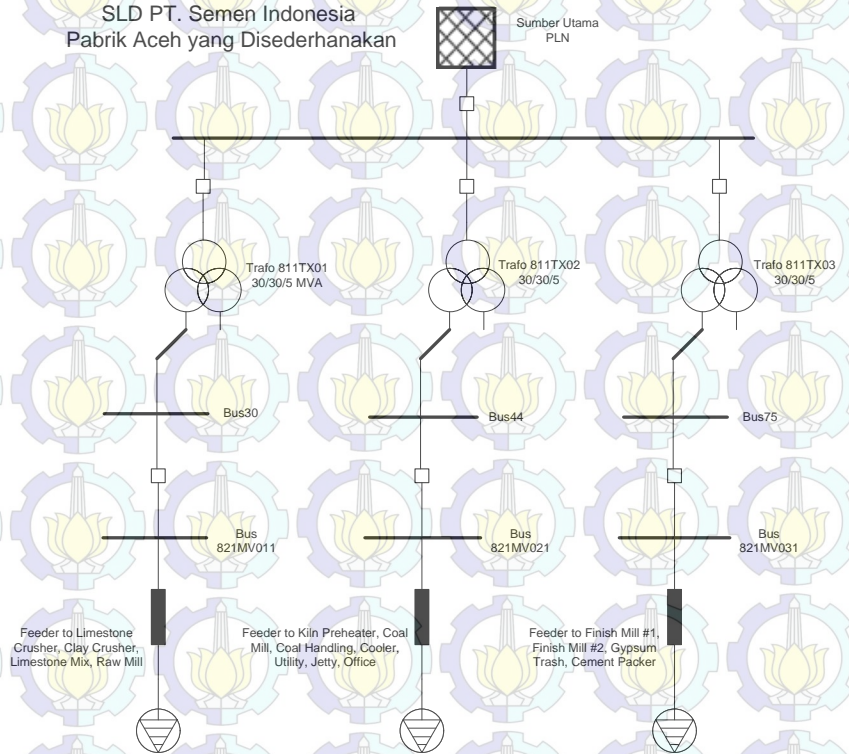
1. Hasil studi menunjukkan bahwa masih terdapat nilai insiden energi pada bus yang melebihi standar NFPA 70E. Maka untuk memperkecilnya, PT. Semen Indonesia pabrik Aceh disarankan untuk menambahkan rele diferensial sebagai pengaman utama bus yang memiliki nilai insiden energi busur api yang besar. Hal ini dilakukan untuk mengamankan para pekerja dari bahaya busur api, sehingga untuk perawatan pada bus-bus tersebut para pekerja masih mempunyai alat pelindung diri yang sesuai dengan standar NFPA 70E untuk keselamatan pekerja.
2. Untuk studi selanjutnya dapat dilakukan analisa busur api pada sistem tegangan rendah yang ada di PT. Semen Indonesia pabrik Aceh, agar setiap daerah dapat diketahui besar insiden energinya serta alat perlindungan diri yang sesuai bagi pekerja.
3. Pada masing-masing bus disarankan dipasang papan peringatan bahaya busur api dan para pekerja sebaiknya selalu menggunakan alat pelindung diri yang sesuai *hazard category* ketika melakukan perawatan pada peralatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] NFPA 70E-2004, Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces.
- [2] IEEE Std 1584-2002 IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation.
- [3] Albert Marroquin, “*Evaluating NFPA 70E Arc Flash Hazard Category Tables*”, Electrical Product & Solutions, September 2007.
- [4] Wu, Alex Y., “*Modified Medium Voltage Arc Flash Incident Energy Calculation Method*”, IEEE Transaction on Industry Application, USA, 2008.
- [5] Gurevich, Vladimir, “*Electric Relays, Principle and Application*”, CRCPress, USA, Ch. 10, 2006.
- [6] Instruction Manual, “*Multi-Functional Protective Relay with Bay Controller 7SJ62 V4.0/V4.1*” Siemens, 1999.
- [7] Lazar Irwin “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980.
- [8] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 1, 2014.
- [9] Anderson, P.M, “*Power System Protection*”, Jhon Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998.
- [10] Simms, Johnny, Gerald Johnson., “*Protective Relaying Methods for Reducing Arc Flash Energy*”, IEEE Transaction on Industry Application, Vol.49, No. 2, 2013.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

SLD PT. Semen Indonesia  
Pabrik Aceh yang Disederhanakan



# CAG 14 & CAG 34

## Circulating Current Relay



CAG14 relay is applied for high impedance restricted earth fault protection of generator, transformer, reactor and bus bars. It is also used with a follower timer for time delayed earth fault protection. Other applications include capacitor bank unbalance protection, generator inter turn fault protection etc.

### Features

- Simple and robust construction.
- High stability on external faults.
- Sensitive high speed protection on internal faults.

### Application

- Differential protection of ac machines, reactors, auto transformers and bus bars.
- Balanced and restricted earth fault protection of generators and transformer windings.
- Transverse differential protection of generators and parallel feeders.

### Application

In circulating current protection schemes, the sudden and often asymmetrical growth of the system current during external fault conditions can cause the protective current transformers to go into saturation, resulting in a high unbalanced current. To ensure stability under these conditions, the modern practice is to use a voltage operated, high impedance relay, set to operate at a voltage slightly higher than that developed by the current transformers under maximum external fault conditions.

Type CAG 14 relay, used with a stabilizing resistor, is designed for such applications where sensitive settings with stability on heavy through faults are required.

Type CAG 14 relay has its operating coil connected in series with small choke and capacitor forming a series resonant circuit. This circuit is energized from an internal autotransformer which is tapped to provide seven equally spaced current settings.

The relay circuit, tuned to the supply frequency, rejects the harmonics produced by CT saturation. A slight time delay on operation helps to provide stability on heavy external faults and is obtained by allowing the auto transformer to saturate above the relay setting. This limits the current supplied, and the relay operates only on the slower part of its time/current curve.

The external stabilizing resistor supplied with the relay allows continuous adjustment of the relay voltage setting over a wide range. The total impedance of the relay and the series stabilizing resistor is usually low enough to prevent the current transformers developing voltages over 2 kV during maximum internal faults, but in some applications a non-linear resistor is required to limit this voltage.

Types CAG 14 and CAG 34 are single and triple pole relays respectively.

### Customer Benefits

- High stability on external faults
- Tuned to rated frequency.
- 25ms operating time at 5 times current setting



## Technical data

### Current rating

1A or 5A

### Settings

20-80% or 10-40% - in seven equal steps as standard.

Continuously variable external stabilising resistors of 200 and 50 ohms are supplied as standard for 1A and 5A relays respectively.

Stabilizing resistors with other ohmic values are also available.

### Operating time

25 milliseconds at 5 times the current setting (see time/current characteristic in Figure 1).

### Burdens

0.9VA at current setting on lowest tap. 1.0VA at current setting on highest tap.

Current transformer requirements will be given on request.

### Short time

20x setting current for 3 seconds.

### Accuracy

Error class index

E 5.0 as per BS 142 - 1966 and

5.0 as per IS 3231 - 1965

### Operation indicator

Hand reset operation indicator provided.

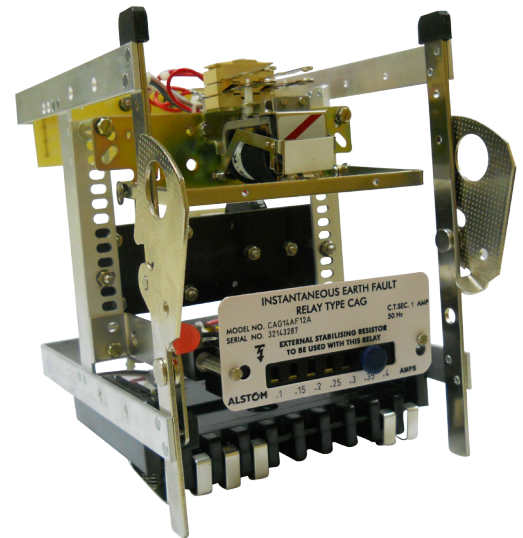
### Contacts

Two pairs of self reset 'make' contacts.

Insulation. The relay meets the requirements of IS 3231 -1965/ IEC 255-5 Series C- 2 kV for 1 minute.

### External and internal circuit connections

See Figure 2.



CAG14 withdrawn from case

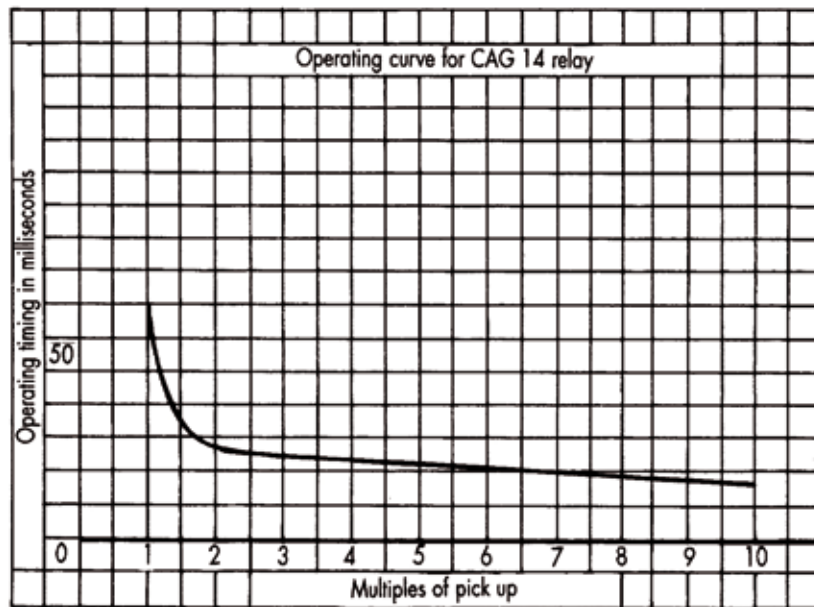


Figure 1: Time/current characteristic

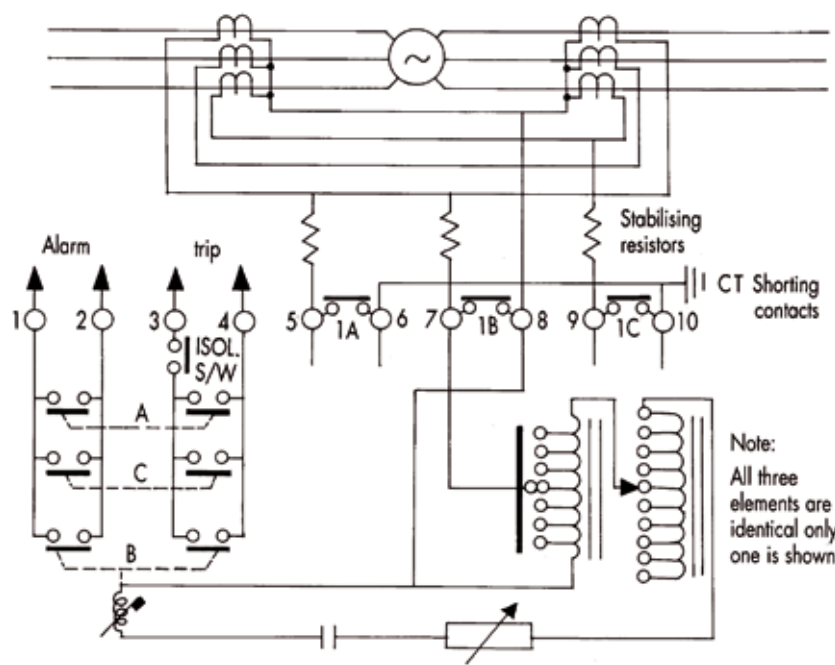


Figure 2: Typical external and internal circuit connections for type CAG 34 generator differential relay

### Thermal rating

The maximum continuous current rating for 60° c rise coil temperature are as follows:

Operating coil tap	Lowest tap 1	2	3	4	5	6	Highest tap 7
Times current setting	8.5	7.74	6.9	6.4	5.74	5.3	5.05

### Contact ratings

	Make and carry Continuously	Make and carry for 0.5 second	Break
AC	1250VA with maxima of 5A and 660V	7500VA with maxima of 30A and 660V	1250VA with maxima of 5A and 660V
DC	1250W with maxima of 5A and 660V	7500W with maxima of 30A and 660V	100W(resistive) 50W (inductive) with maxima of 5A and 660V

### Dimensions and weights

Relay	Case size	Maximum overall dimensions			Approximate gross weight Kg
		Height mm	Width mm	Depth* mm	
CAG 14/34	1D vert.	233	170	203	6.0

Stabilising

resistor - 41 mm diameter x 273 mm long

\* Add 76 mm for maximum length of terminal studs, alternatively, 29 mm for terminal screws.

The approximate gross weights given above is inclusive of cartons, mounting appendages and terminal details.

The relays comply fully with the requirements of IS 3231-1965 and are suitable for use in normal tropical environments.

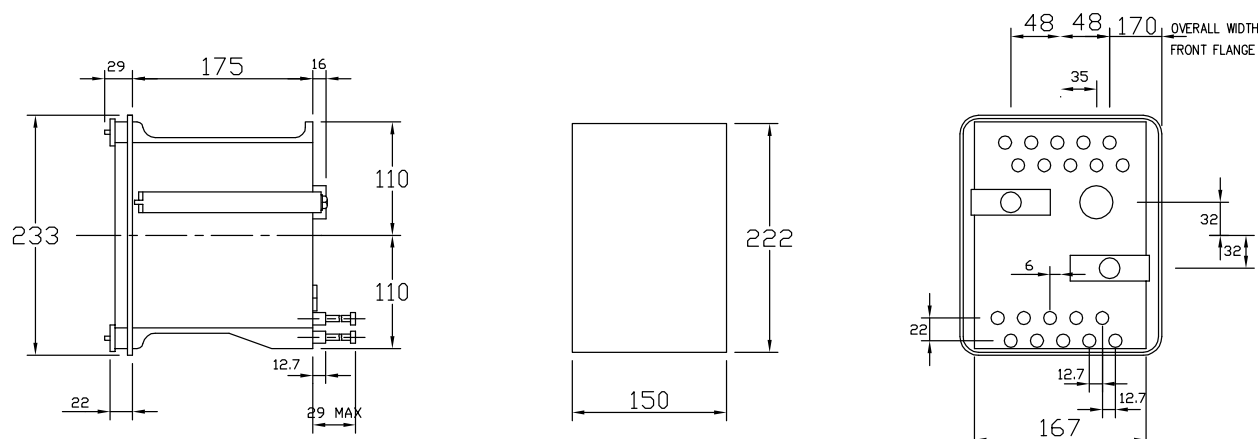


Figure 3 : Case and panel cut-out dimensions for case 1D ( All dimensions in mm)

**Case and finish**

1D vertical drawout case suitable for flush mounting finished twin tone and tropicalised. Suitable trip isolating switches and CT shorting switches provided on cradle assembly/case.

**Information required with order**

1. Type of relay. CAG 14 ☐ CAG 34 ☐
2. Current transformer secondary rating. 1A ☐ 5A ☐
3. Current setting range. 20-80% ☐ 10-40% ☐
4. a. Application. Res. E/F ☐ Differential ☐ Buszone Protection ☐

#### ALSTOM T&D INDIA LIMITED

Pallavaram Works  
19/1, G.S.T. Road,  
Pallavaram, Chennai - 600 043  
Tel: 91-44-2264 8000  
Fax: 91-44-2264 0040

#### ALSTOM T&D Worldwide Contact Centre:

<http://www.alstom.com/contactcentre/>  
Tel.: +44 (0) 1785 250 070

[www.grid.alstom.com](http://www.grid.alstom.com)

"Alstom logo and any alternative version thereof are trademarks and service marks of Alstom. The other names mentioned, registered or not, are the property of their respective companies. The technical and other data contained in the document are provided for information only. Neither ALSTOM, its officers nor employees accept responsibility for or should be taken as making any representation or warranty (whether express or implied) as to the accuracy or completeness of such data or the achievements of any projected performance criteria where these are indicated. No liability is accepted for any reliance placed upon the information contained in this brochure. Alstom reserves the right to revise or change these data at any time without further notice."

GRID

**ALSTOM**

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Dhimas Oktavian Andryana**, dilahirkan di Nganjuk, tanggal 18 Oktober 1993. Penulis adalah putra kedua dari pasangan Sutikno Alm dan Ningsih Dwi Astuti. Penulis menuntaskan jenjang pendidikan dasar di SDN Payaman 3 Nganjuk, dilanjutkan ke SMP Negeri 1 Nganjuk, dan SMA Negeri 2 Nganjuk hingga lulus pada tahun 2011. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke D3 PPNS-ITS jurusan teknik kelistrikan dan lulus tahun 2014. Setelah lulus, penulis melanjutkan jenjang pendidikan sarjana melalui program Lintas Jalur ke Jurusan Teknik Elektro ITS, dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah, penulis juga aktif sebagai pengurus di UKM sepaknola PPNS-ITS selama 2 tahun. Penulis dapat dihubungi melalui email [dhimas181093@gmail.com](mailto:dhimas181093@gmail.com).

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*